Eletrônica Básica:
teoria e prática

1ª Edição



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Andrey, João Michel
Eletrônica básica : teoria e prática / João Michel Andrey. -- São Paulo : Rideel, 1999.

ISBN 85-339-0283-2

1. Eletrônica 2. Eletrônica – Problemas, exercícios etc. I. Título.

99-1155 CDD-621.381

Índices para catálogo sistemático:
1. Eletrônica : Engenharia 621.381



EDITORA AFILIADA

Coordenação
João Michel Andrey

Eletrônica Básica:
teoria e prática

Editor:	Italo Amadio
Assistente Editorial:	Katia F. Amadio
	Roberto F. Amadio
Coordenação:	João Michel Andrey
Texto sobre Instrumentação Virtual:	Carlos Lichtenfels Riccio
Layout, Ilustrações:	Markus Steiger
Colaboração:	Eduardo E. Rodrigues
Revisora:	Alessandra Bosquilha
Capa:	Markus Steiger



Editora Rideel Ltda.
Al. Afonso Schmidt, 879
Santa Terezinha – São Paulo – SP
e-mail: rideel@zaz.com.br

Conteúdo

4 Quais são os componentes eletromagnéticos usados em circuitos eletrônicos?

5 O que são os transdutores e como eles são usados?

6 Quais são os circuitos usados em fontes de alimentação eletrônicas?

7 O que é polarização e como é obtida?

8 O que são os amplificadores de tensão e de potência?

9 Como funcionam os osciladores?

10 O que são circuitos integrados e amplificadores operacionais?

13 Como funcionam os Sistemas de Áudio?

14 Como funcionam Receptores de TVC, TV e Aparelhos de Vídeo-Cassete?

16 Como localizar defeitos em equipamentos eletrônicos?

A Segurança

Apresentação

A Editora Rideel, com satisfação, apresenta a obra *Eletrônica Básica*: *teoria e prática*, com o objetivo de contribuir para a eficiência do estudo da ciência eletrônica, que é vasta e abrangente.

Este livro foi criado de forma a satisfazer todo aquele que se propõe a estudar Eletrônica, seja qual for o ramo escolhido.

O livro é rico em informações e fundamentos técnicos; demonstra de forma prática a operacionalização de componentes eletrônicos; apresenta diferentes estratégias de instrução técnica; é todo ilustrado e tem um anexo sobre Instrumentação Virtual, em cores, acompanhado de CD-ROM, que além de conter todo o texto e ilustrações do livro, apresenta um software (Picoscope) que auxilia o leitor a transformar seu PC em "múltiplo instrumento de teste".

Ao reduzir as expressões numéricas e os símbolos, comumente utilizados em livros de ciências exatas, e mesmo substituindo-os pelo desenvolvimento de experiências para a comprovação de conceitos teóricos, faz com que este livro seja de fácil compreensão, oferecendo uma leitura agradável e atraente.

Eletrônica Básica: *teoria e prática* é um livro destinado a estudantes, profissionais da área e interessados em geral que querem desenvolver ou atualizar os conhecimentos em Eletrônica, abrindo o seu campo de atuação.

Os Editores

Prefácio

A Eletrônica é uma ciência que vem se desenvolvendo desde a década de 20. No início, lentamente, e depois a passos largos. Primeiro foi a válvula termoiônica, depois o transistor e finalmente o circuito integrado. Atualmente, estamos em tempo de SMDS e memórias conduzidas por microprocessador.

A ciência eletrônica é vasta e abrangente em suas aplicações. Por meio dela foram desenvolvidos sistemas de comunicação, medicina instrumental, pesquisa espacial, controles automáticos industriais, entretenimento e computação. Seu campo de aplicações é tão grande, tornando-se necessária uma imensa diversificação de ramos especializados.

Para um estudo eficiente de qualquer dos ramos de aplicação necessita-se de uma fase fundamental – *Eletrônica Básica* – objeto principal deste livro.

A obra é rica de conteúdo didático e foi elaborada de modo a servir de guia à condução de qualquer área de aperfeiçoamento.

Os primeiros capítulos abordam os princípios que norteiam a operação de componentes eletrônicos. No capítulo 6 é iniciada a discussão sobre os circuitos eletrônicos que compõem os sistemas operacionais, e a partir do 12, os estudos sobre rádio, áudio, TVC, TV e videocassete. Os capítulos finais tratam dos circuitos lógicos do computador e eletrônica industrial, e o estudo de técnicas para localização e reparação de defeitos em equipamentos eletrônicos.

De uma forma peculiar, cada capítulo do livro foi dividido em seções:

Introdução, em que o leitor tem uma visão global daquilo que vai aprender com a leitura do assunto naquele capítulo.

Instrução, na qual a teoria e as aplicações práticas do assunto em questão são descritos, acompanhados por uma grande quantidade de ilustrações.

Perguntas de Revisão Programada, em que o leitor pode rever o assunto abordado no capítulo, tendo o domínio total da abordagem na seção *Instrução*. Também nesta seção estão incluídos resumos que servem para "reavivar" a mente do leitor.

Experiências – esta seção permite ao leitor comprovar, na prática, a teoria aprendida na seção de Instrução; o anexo C fornece informações detalhadas referentes às placas de circuitos destinadas às experiências.

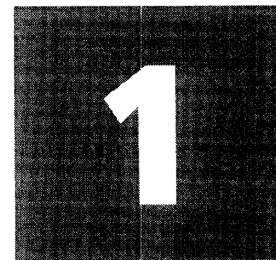
Autoteste com Respostas – destina-se a testar o grau de aprendizagem do leitor, composto por questões cujas respostas possuem múltiplas escolhas, sendo que algumas delas contêm explicação adicional.

O anexo D contém grande quantidade de informações referentes à moderna forma de medir e analisar circuitos eletrônicos, a chamada: "*Instrumentação Virtual*".

Com certeza, *Eletrônica Básica: teoria e prática* será de grande proveito para o leitor que poderá somar à sua experiência um número maior de informações e conhecimentos sobre Eletrônica.

Prof. J. michel Andrey

O que é a eletrônica?



INTRODUÇÃO

A palavra *eletrônica* é usada tão inadequadamente que quase perde sua identidade real. Aqueles que dizem: "Trabalho em eletrônica", estão dando apenas uma vaga idéia de seu trabalho.

Por exemplo, se projetam equipamentos eletrônicos, são *engenheiros eletrônicos*. Se localizam e consertam defeitos em equipamentos eletrônicos, são *técnicos eletrônicos*. Se giram botões para operar equipamentos eletrônicos, são *operadores*.

Neste capítulo, iremos discutir um significado básico da palavra *eletrônica*. Iremos mostrar como a eletrônica se desenvolveu de uma simples experiência até constituir uma ciência que afetou quase todos os campos da indústria e do lazer. Alguns princípios muito importantes da eletrônica e da eletricidade serão revistos. Eles irão servir de fundamento para seu estudo futuro de sistemas eletrônicos.

Depois de estudar este capítulo, você poderá responder às seguintes perguntas:

- **O que são elétrons?**
- **O que é a corrente de elétrons?**
- **Como acompanhar um circuito?**
- **O que é preciso para que um sistema seja eletrônico?**
- **Quais foram os primeiros componentes eletrônicos?**
- **Efeito Edison e Válvula à Vácuo**
- **Como se desenvolveu a radiocomunicação?**
- **O que é um áudion?**

INSTRUÇÃO

O que são os Elétrons?

Vamos supor que alguém lhe peça para fazer uma lista de todos os diversos tipos de materiais existentes no mundo. Mesmo que você dedicasse toda sua vida para fazer a lista, é muito duvidoso que pudesse completar esta tarefa. Você teria que incluir todos os tipos diferentes de metais, plásticos, madeiras, produtos químicos, etc. A lista seria interminável.

Filósofos antigos se preocupavam com a idéia de que deveria haver algumas coisas muito básicas que poderiam ser combinadas para formar todos os materiais que conhecemos. Uma das teorias mais antigas dizia que tudo no universo era formado por quatro ingredientes básicos: *a água, o fogo, o ar* e *a terra*. Pensava-se que, se esses ingredientes fossem combinados nas quantidades corretas, podia-se produzir qualquer material conhecido. Os primeiros alquimistas passaram a vida inteira tentando combinar esses elementos de maneira correta para produzir ouro.

Sabemos hoje que os ingredientes básicos *não* são o ar, a terra, o fogo e a água. De fato, existem 92 ingredientes básicos — chamados *elementos* — que, em várias combinações, produzem todos os materiais conhecidos. Cada material no universo é um desses elementos ou é formado pela combinação deles.

O hidrogênio e o oxigênio são, ambos, elementos. Combinando-os nas proporções corretas, você pode produzir água. O sal é formado pelos elementos: sódio e cloro e o açúcar é formado pelos elementos: carbono, hidrogênio e oxigênio.

Sem dúvida, você sabe que uma colher de açúcar é formada por grânulos muito pequenos. Vamos supor um grão de açúcar e dividi-lo em elementos sempre menores.

Eventualmente, iríamos atingir um ponto em que as minúsculas partículas de açúcar não poderiam mais ser divididas e ser ainda chamadas de açúcar. Esta menor partícula de açúcar é chamada *molécula*.

A Figura 1-1 mostra a relação entre um grânulo de açúcar e a molécula. Por definição, a molécula é a menor partícula de qualquer material que ainda conserva as suas propriedades.

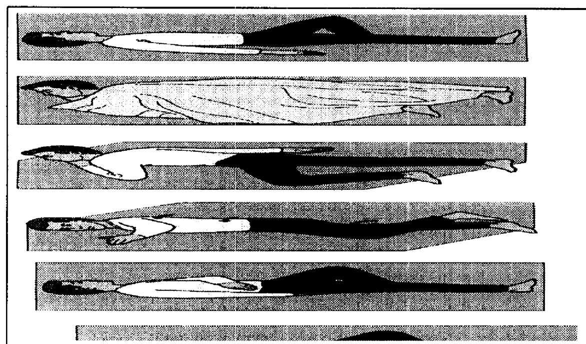


Fig. 1-1: Redução do açúcar em partículas atômicas (C - carbono, O - oxigênio e H - hidrogênio).

Se você pudesse dividir a molécula, iria achar que a mesma é formada por combinações de elementos. No caso do açúcar, conforme indicado na Figura 1-1, a divisão da molécula produz pequenas partículas de carbono, hidrogênio e oxigênio. Estes são todos *elementos*. A menor partícula de um elemento que ainda conserva a propriedade do elemento é chamada *átomo*.

Se você puder dividir as partes de um átomo em partículas menores, verá que este é formado por três partículas básicas chamadas: *elétrons*, *prótons* e *nêutrons*. A diferença entre um elemento e outro, por exemplo, carbono e oxigênio, é o número de elétrons, prótons e nêutrons existentes nesses elementos.

Ninguém jamais viu um átomo; porém , os cientistas têm provas de que o átomo é construído como um sistema solar em miniatura. Consiste de um núcleo formado de prótons e de nêutrons e, em volta deste núcleo, existem minúsculos elétrons que se deslocam a alta velocidade. A Figura 1-2 mostra a estrutura de um tipo de átomo tal qual se acredita que seja. Num átomo, o número de elétrons que se desloca em volta do núcleo é sempre igual ao número de prótons dentro do núcleo.

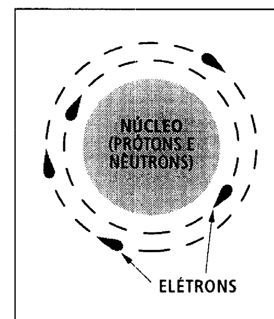


Fig. 1-2: O átomo é, às vezes, comparado com o sistema solar.

Os elétrons são, às vezes, considerados como partículas com carga negativa. Uma lei básica da eletricidade diz que *cargas opostas se atraem* e *cargas iguais se repelem*. Portanto, os elétrons negativos que se deslocam em alta velocidade são mantidos em suas órbitas pela forte atração dos prótons positivos no centro.

Na eletrônica, nossa tarefa consiste em remover alguns elétrons dos átomos e pô-los para trabalhar. De fato, a *eletrônica* pode ser definida *como a tarefa de pôr os elétrons para trabalhar.*

O que é a Corrente de Elétrons?

Se conseguirmos movimentar uma grande quantidade de elétrons, através de um fio condutor, teremos uma *corrente elétrica*. O elétron é tão pequeno que são precisos 6.240.000.000.000.000.000 elétrons passando por um ponto de um fio condutor a cada segundo para produzir uma corrente de 1 ampère (A).

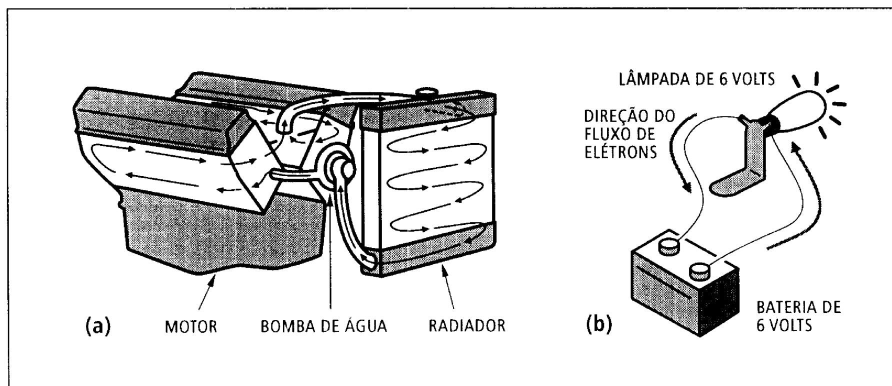


Fig. 1-3: Comparação entre o sistema de circulação de água e o sistema elétrico:
(**a**) sistema de arrefecimento de água num automóvel. As setas indicam o caminho da corrente de água;
(**b**) circuito elétrico básico. As setas indicam o caminho da corrente de elétrons.

Esse número é, às vezes, escrito como 6,24 x 10^{18}, o que significa 6,24 com o ponto decimal deslocado 18 casas para a direita. Os elétrons são tão pequenos que são precisos mil milhões de milhões de milhões de milhões, para formar 1 grama (g).

Agora, seria uma boa idéia rever o significado de alguns termos básicos usados em eletricidade e eletrônica. A Figura 1-3 ilustra uma comparação entre o sistema de circulação de água num automóvel e um circuito elétrico simples. Este tipo de comparação entre dois sistemas é chamado *analogia.*

No sistema de circulação de água da Figura 1-3a, a bomba de água é usada para forçar a passagem da água através do radiador e do motor. A água absorve o calor do motor e leva este calor para o radiador onde é dissipado.

O fluxo de água é dificultado pelo atrito no radiador e em outras partes do sistema.

Existem três características muito importantes do sistema de circulação de água. A pressão para a circulação da água é fornecida pela bomba. O fluxo no sistema consiste de alguns litros por minuto de fluido. A *oposição* é representada pelo atrito do radiador, assim como pelo do sistema.

O sistema elétrico da Figura 1-3b pode ser comparado com o sistema de água. No sistema elétrico, a *pressão elétrica* é fornecida pela bateria. Você poderia usar um gerador em vez de uma bateria. Em qualquer caso, é conveniente imaginar a fonte de tensão como sendo a pressão elétrica que força a corrente através do circuito.

A corrente elétrica consiste de um fluxo de elétrons. A oposição ao fluxo de corrente é devida à resistência do circuito. Isto inclui a resistência dos fios e conectores, assim como da lâmpada. Geralmente, você pode ignorar a resistência dos fios e conectores porque a mesma é muito pequena.

A relação entre a tensão [medida em volts (V)], a corrente [medida em ampère (A)] e a resistência [medida em ohms ( )] é e xpressa pela lei de Ohm:

$$\text{Corrente em ampères} = \frac{\text{tensão em volts}}{\text{resistência em ohms}}$$

ou usando símbolos $I = \dfrac{E}{R}$

em que, I = corrente, em ampères
E = tensão, em volts
R = resistência, em ohms

Como acompanhar um Circuito?

Uma característica importante do fluxo de corrente de elétrons é que eles deixam a fonte de tensão no terminal negativo e voltam para a fonte no terminal positivo. Isso está indicado na Figura 1-4.

Pode-se considerar o terminal negativo como o local em que ocorre um excedente de elétrons. Estes repelem elétrons num condutor ligado a este terminal. O terminal positivo tem um déficit de elétrons os atrai. Portanto, os elétrons negativos afastam-se do terminal da tensão negativa e são atraídos em direção ao terminal positivo.

Quando você acompanhar o caminho da corrente de elétrons, é preciso sempre começar no terminal negativo na fonte de tensão e terminar no terminal positivo. Se você puder completar o caminho, tem um *circuito fechado.* Se você não puder chegar ao terminal positivo, terá, então, um *circuito aberto.* O processo de seguimento do caminho de elétrons é chamado de *acompanhamento de circuito.*

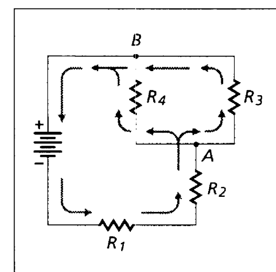


Fig. 1-4: As setas indicam os caminhos da corrente de elétrons.

Você deve poder acompanhar um circuito para localizar componentes defeituosos.

Na Figura 1-4, as setas indicam que a corrente deve fluir através dos resistores R_1 e R_2, para poder voltar ao terminal positivo. Diz-se que esses resistores estão *em série.* A corrente divide-se no ponto A e parte desta corrente flui através dos resistores R_3 e R_4. Diz-se que esses resistores estão *em paralelo.* No ponto B, as correntes de elétrons se unem e voltam para o terminal positivo. Quando existe um caminho completo para a corrente, temos um *circuito fechado.*

O que é preciso para que um sistema seja Eletrônico?

O fato de os elétrons fluírem através de um sistema não significa necessariamente que se trata de um sistema eletrônico. Podemos fazer os elétrons fluírem através de um fio condutor feito de cobre ou de alumínio, porém não consideramos o fio condutor como sendo um dispositivo eletrônico.

Da mesma forma, motores e geradores operam com fluxo de elétrons, porém não são considerados como dispositivos eletrônicos. Um dispositivo eletrônico não apenas permite um movimento de elétrons através de si, como também é capaz de controlar este movimento. Para definir um *componente eletrônico*, podemos dizer que é um dispositivo capaz de controlar o número de elétrons que passa através deste dispositivo durante determinado intervalo de tempo. Exemplos de componentes eletrônicos: válvula a vácuo, transistores FET (transistores com efeito de campo) e tubos de raios catódicos (como o tubo de imagem de um aparelho de televisão).

Quais foram os primeiros Componentes Eletrônicos?

Quando fazia experiências com sua lâmpada elétrica, Thomas Edison ficou preocupado com depósitos escuros nas paredes internas do vidro da lâmpada.

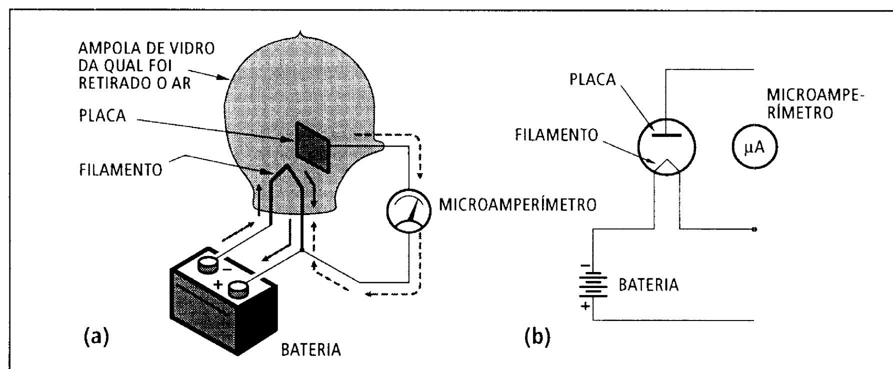


Fig. 1-5: Uma das primeiras experiências de Edison: (**a**) diagrama em perspectiva; (**b**) diagrama esquemático.

RESUMO

1. Todos os materiais no mundo são formados por combinações de elementos básicos.
2. A menor parcela de material que ainda conserva toda as propriedades do material é chamada molécula.
3. As moléculas são formadas pela combinação de átomos dos 92 elementos.
4. Os átomos são formados por pequenas partículas chamadas *prótons, nêutrons* e *elétrons*.
5. A *eletrônica* é a arte de pôr elétrons para trabalhar.
6. O elétron é tão minúsculo que é necessário um número enorme de elétrons para produzir um fluxo mensurável da corrente de elétrons.
7. A corrente elétrica pode ser considerada como um fluxo de elétrons, e uma fonte de tensão (como, por exemplo, uma bateria ou um gerador) pode ser considerada como fonte de pressão para forçar a corrente a fluir através de um circuito.

Num esforço para descobrir a natureza desses depósitos escuros, Edison realizou uma experiência que está ilustrada na Figura 1-5. A Figura 1-5a ilustra a experiência e a Figura 1-5b mostra os mesmos componentes representados em forma esquemática. Seria impossível desenhar todos os complexos sistemas eletrônicos com os quais estamos trabalhando usando desenhos em perspectiva, de modo que os componentes são geralmente representados pelos tipos de símbolos esquemáticos usados na Figura 1-5b. É muito importante você memorizar os símbolos esquemáticos, de modo a poder "ler" o diagrama esquemático dos sistemas eletrônicos.

Para sua experiência, Edison ligou uma bateria ao filamento. A corrente elétrica fluindo através do filamento causou o aquecimento do mesmo, levando-o à incandescência, isto é, o filamento começou a irradiar luz. Edison colocou, então, uma placa metálica dentro da ampola de vidro, esperando obter parte do depósito indesejável na placa. Por alguma razão, Edison ligou um microamperímetro entre a placa e um dos conectores do filamento. Para sua grande surpresa, o microamperímetro mostrou a existência de uma corrente de elétrons. Isto era contrário a todos os princípios básicos de eletricidade que Edison conhecia.

Edison sabia, por exemplo, que, para a corrente elétrica fluir, esta poderia deixar a fonte de tensão e sempre voltar à mesma. Porém, no circuito simples da Figura 1-5 não parecia haver uma fonte de tensão para movimentar a corrente através do microamperímetro.

Ademais, a placa era colocada no vácuo de modo que parecia haver um circuito aberto. Em outras palavras, parecia não haver um caminho completo para o fluxo de corrente.

As setas cheias na Figura 1-5a mostram o caminho de fluxo da corrente elétrica partindo do terminal negativo da bateria e voltando para o terminal positivo da mesma. Esta corrente, como você sabe, envolve o fluxo de um grande número de elétrons. Porém, lembre-se de que a corrente irá fluir somente se o circuito for completo, isto é, com a condição de que haja um caminho condutor partindo da fonte de tensão e voltando para a mesma. Isto era o princípio básico conhecido de Edison, porém o instrumento mostrava nitidamente a existência de fluxo de corrente, conforme indicado pelas setas tracejadas.

Edison não levou adiante esta experiência, porém tomou nota dela. Como resultado disto, este fluxo de elétrons e os resultados de sua experiência são conhecidos como *efeito Edison.*

Efeito Edison e Válvula à Vácuo

No ítem anterior, você ficou sabendo como surgiu a válvula eletrônica: partindo de uma lâmpada incandescente, Edison descobriu que, uma corrente de elétrons tinha início no pólo negativo de uma bateria e retornava ao pólo positivo da mesma, atravessando o espaço interior de sua lâmpada incadescente e o microamperímetro. No interior da lâmpada, os elétrons eram emitidos pelo filamento incandescente, devido ao aquecimento deste.

Sempre que as moléculas ou átomos de um material são elevados à certa temperatura, surge o fenômeno do desprendimento e emissão de elétrons. À esse fenômeno dá-se o nome de "efeito Edison".

A válvula eletrônica surgiu baseada nas pesquisas de J. A. Fleming, um físico inglês que, aproveitando a descoberta de Edison, criou um dispositivo eletrônico capaz de retificar e amplificar tensões elétricas. Esse dispositivo chamou-se "válvula eletrônica" e permitiu o desenvolvimento e crescimento muito grandes nas rádio-comunicações da época.

Como a maioria dos sistemas eletrônicos antigos e modernos dependem da amplificação de sinais elétricos, a válvula eletrônica foi utilizada por muitos anos, até o surgimento do transistor. Ainda encontramos válvulas em equipamentos mais antigos, mas isso é tão raro que não há mais razão para qualquer discussão técnica a esse respeito.

No Capítulo 14, estaremos discutindo: "Tubos de Raios Catódicos" utilizados nos televisores, osciloscópios e terminais de vídeo, e nesse ponto daremos mais informações sobre válvulas.

Tubos de raios catódicos ou cinescópios, seguem os mesmos princípios de operação das válvulas eletrônicas.

RESUMO

1. Quando um filamento é aquecido até a *incandescência* — isto é, quando é tão quente que começa a emitir luz — ele emite elétrons. O filamento aquecido deve ser colocado em vácuo para não se queimar.
2. Se você colocar uma placa metálica no vácuo, perto do filamento aquecido, parte dos elétrons emitidos irá bater na placa.
3. Quando um elétron deixa o filamento, este adquire uma pequena carga positiva. Em outras palavras, o filamento está com falta de um elétron. Os elétrons negativos que atingem a placa irão voltar através do circuito externo até o filamento positivo para anular esta carga positiva.
4. Um instrumento de medição ligado entre a placa e o filamento aquecido irá indicar um fluxo de corrente.
5. Se uma bateria for ligada de modo a tornar a placa positiva em relação ao filamento, haverá maior fluxo de corrente entre a placa e o filamento.
6. Se uma bateria for ligada, de modo a tornar a placa negativa em relação ao filamento, não haverá fluxo de corrente entre a placa e o filamento.
7. Um diodo a vácuo é constituído por uma placa e por um filamento isolados um do outro e fechados dentro de um invólucro, do qual foi retirado todo o ar do interior . A placa é chamada *ânodo* e o filamento é chamado *cátodo.*
8. Quando uma válvula diodo (que tem 2 elementos) recebe uma grade de controle ela passa a se chamar "válvula triodo". A válvula triodo é capaz de "amplificar" sinais elétricos.
9. O transistor veio substituir a válvula, com vantagens. O transistor amplifica sinais elétricos e não é tão frágil quanto a válvula. Também, não precisa de aquecimento por filamento.
10. O tubo de imagem de um televisor ou de um terminal de vídeo, tem o mesmo princípio de operação de uma válvula à vácuo.

Como se desenvolveu a Rádio-comunicação?

No período de 1865 a 1873, James Clerk Maxwell realizou muitas pesquisas sobre a teoria das ondas eletromagnéticas. Ele previu que seria possível transmitir essas ondas, que chamamos *ondas de rádio*, de um ponto para outro. Porém, foi somente no ano de 1887 que Heinrich Hertz pôde realmente transmitir uma onda de rádio a uma distância curta. Hertz usou uma faísca elétrica formada no espaço entre dois eletrodos para produzir as ondas de rádio.

Em 1896 Marconi operou, pela primeira vez, seu sistema de telegrafia sem fio, enviando uma mensagem em código Morse a uma distância de 30 metros. Esse foi o primeiro uso prático das ondas de rádio para comunicação. Apesar do sucesso das primeiras experiências da telegrafia sem fio, houve muitos críticos que insistiam que a comunicação em longa distância não seria possível. Os críticos raciocinavam que as ondas de rádio escapariam para o espaço, em vez de seguir a curvatura da Terra. Pensavam também que as ondas de rádio teriam as mesmas características que as ondas luminosas. Sabiam que, por causa da curvatura da Terra, não é possível ver a uma distância superior a 50-60 km.

Hoje em dia, sabemos que a comunicação em longa distância é possível. O que os críticos não sabiam é que existe uma camada de íons em volta da Terra, acima da atmosfera terrestre. Esta camada de íons é conhecida como a camada *Kennelly-Heaviside* e é também chamada *ionosfera*. Sinais de rádio de freqüência relativamente baixa são refletidos de volta para a Terra por esta camada ionizada.

A Figura 1-6 mostra como a comunicação em longa distância é possível. O sinal de rádio vai diretamente ao longo da superfície terrestre, até um receptor no ponto *A*. Este sinal de rádio é chamado *onda terrestre*. Além do ponto *A*, que é a distância máxima da linha do horizonte, a onda desloca-se no espaço.

O transmissor não emite apenas uma única onda de rádio bem definida. Em vez disso, as ondas de rádio afastam-se da antena transmissora de maneira muito semelhante às ondas de luz emitidas por uma lâmpada elétrica. A Figura 1-6 mostra como parte do sinal é refletida pela camada Kennelly-Heaviside e bate na antena receptora no ponto *B*. Este ponto está além da distância da linha do horizonte do transmissor.

As reflexões da ionosfera tornam possível a recepção dos sinais de rádio a grandes distâncias do transmissor. A primeira transmissão transatlântica em código Morse foi realizada no ano de 1901. Porém, foi somente em 1904 que Fleming usou o diodo como detector de sinais de rádio. Em outro capítulo, iremos discutir a operação dos detectores de sinais de rádio e você irá estudar como funciona o detector a diodo.

O que é um Áudion?

Até o ano de 1906, os meios para transmissão e recepção dos sinais de rádio eram muito rudimentares. O sinal transmitido era produzido por uma faísca elétrica no espaço entre dois eletrodos. A faísca produzia ondas eletromagnéticas numa ampla faixa de freqüências. Uma vez que todos os transmissores com abertura de faiscamento transmitiam aproximadamente a mesma faixa de freqüência, não era possível sintonizar uma estação e excluir todas as outras. A estação com maior possibilidade de ser ouvida era aquela com maior abertura de faiscamento. Os sinais recebidos provocavam tensões muito fracas nas antenas de recepção e não existia meio algum para amplificar os sinais.

Hoje, a cada transmissor de rádio é atribuída uma freqüência ou uma faixa de freqüências e a lei é muito rigorosa sobre a observância destas freqüências.

Em 1906, DeForest introduziu uma invenção que ajudou a mudar completamente o processo de

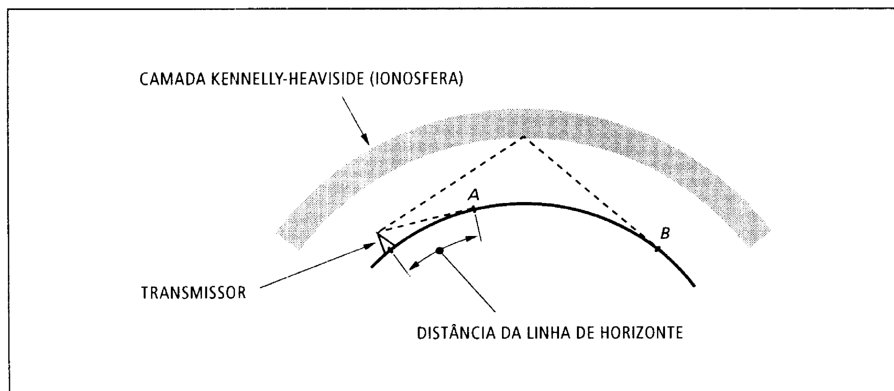


Fig. 1-6: Como as ondas de rádio são transmitidas além da distância da linha do horizonte.

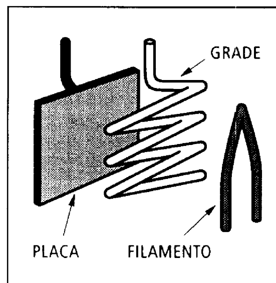


Fig. 1-7: O áudion de grade.

rádio-comunicação. Ele chamou sua invenção de *áudion de grade*, porém, hoje em dia, é conhecida mais comumente como *triodo* (de *válvula triodo*).

A Figura 1-7 mostra a estrutura básica do triodo, conforme inventado por DeForest. Você poderá notar que esse triodo possui uma placa e um filamento, exatamente como o diodo que você já estudou anteriormente, porém uma grade adicional de arame foi inserida entre a placa e o filamento. Este arame é chamado de *grade de controle*. O filamento, a grade de controle e a placa são todos alojados num invólucro de vidro ou de metal.

Conforme você já viu com o diodo, é necessário remover todo o ar de dentro do invólucro, para evitar a combinação química do filamento quente com o oxigênio. Se houver entrada de ar no invólucro, o filamento irá queimar-se muito rapidamente.

Os elétrons no triodo deslocam-se do filamento aquecido para a placa positiva, exatamente como num diodo. Porém, devem passar no seu caminho pelos arames da grade de controle.

Se você tornar a grade de controle altamente negativa, ela irá repelir os elétrons negativos de volta para o filamento (cargas iguais se repelem). Nenhum elétron irá atingir a placa nestas condições.

Se a tensão da grade de controle for zero, um grande número de elétrons irá atingir a placa.

Dessa forma, o número de elétrons que atinge a placa a qualquer momento depende da tensão da grade; o que é mais importante é o fato de que uma pequena alteração na tensão negativa da grade pode produzir uma alteração importante no número de elétrons que atingem a placa. É este fator importante que torna possível a *amplificação*. O triodo possibilitou em receptores de rádio a sintonia de sinais fracos de estações situadas a uma grande distância.

Até 1948, o triodo e as válvulas mais complexas já estavam desenvolvidos a um alto grau de refinamento. Além da rádio-comunicação, as válvulas já foram usadas em equipamento militar (radar e sonar) e também para televisão. De fato, a primeira demonstração rudimentar de televisão foi realizada no final da década de 20.

Apesar de as válvulas serem amplamente responsáveis por avanços na rádio-comunicação e outros equipamentos eletrônicos, elas possuem muitas desvantagens. Grande parte da energia usada para aquecer o filamento é perdida. Ademais, a grande quantidade de calor gerada pelos sistemas que utilizam um grande número de válvulas é indesejável. Os filamentos das válvulas queimam-se periodicamente e isto significa maiores custos de manutenção.

Em 1948, foi anunciado para o mundo o advento do *transistor*. Como a válvula, o transistor amplifica sinais fracos. Porém, a semelhança termina aqui. Os transistores não possuem filamentos, de modo que operam de forma mais eficiente, com menor desprendimento de calor e menores custos de manutenção.

O estudo da Eletrônica, nos dias de hoje, se resume em grande parte ao estudo dos dispositivos semicondutores. Entre estes destacamos o transistor, o qual estudaremos com bastante ênfase nos próximos capítulos.

RESUMO

1. A possibilidade de transmitir e receber ondas de rádio foi predita por Maxwell, e Hertz realizou isto alguns anos depois, em 1887.
2. Marconi foi o primeiro a usar ondas de rádio para enviar sinais em código Morse.
3. A comunicação em longa distância é possível porque as ondas de rádio são refletidas de volta para a Terra pela camada Kennelly-Heaviside, que é também conhecida como ionosfera.
4. Originalmente, a rádio-comunicação usava transmissores com abertura de faiscamento.
5. Fleming usou pela primeira vez em 1904 o diodo como detector. Isto simplificou o projeto dos receptores.
6. DeForest introduziu uma grade de controle entre o filamento e a placa de um diodo. Uma pequena alteração na tensão negativa da grade de controle provoca uma alteração importante no número de elétrons que atingem a placa.
7. DeForest chamou sua invenção de áudion; porém, mais tarde, ficou mais conhecida como triodo.
8. Os transistores, como os triodos, podem amplificar sinais. Uma vez que os transistores não possuem filamentos, são mais confiáveis que as válvulas e não geram calor indesejável.

INSTRUÇÕES PARA RESPONDER ÀS PERGUNTAS DE REVISÃO PROGRAMADA

Comece com a pergunta nº1, no item **1**. Responda a essa pergunta com a resposta que você acha correta. Se você achar que a resposta A é correta, passe para o item **17**. Se, por outro lado, você achar que a resposta B é a correta, passe para o item **9**.

Ao passar para o item indicado por sua pergunta, você irá saber se sua resposta é correta ou errada. Se sua resposta for errada, você irá saber por quê. Se sua resposta for correta, você terá outra pergunta a responder.

Se você tiver assimilado o material na seção de instrução, não terá qualquer dificuldade em completar essa seção.

PERGUNTAS DE REVISÃO PROGRAMADA

Vamos rever agora os conceitos importantes deste capítulo. Se você tiver entendido o material, poderá progredir facilmente por meio desta seção. Não pule itens, uma vez que apresentamos aqui algumas informações teóricas adicionais.

1 **A rádio-comunicação em longa distância é possível porque as ondas de rádio são refletidas de volta para a Terra, por uma camada de íons, acima da atmosfera terrestre. Esta camada de íons é chamada**

A **Camada Kennelly-Heaviside** (passe para o item 17).
B **Refletômetro iônico** (passe para o item 9).

2 *Se sua resposta para a pergunta no item 16 é A, está errada. A lei de Ohm é uma fórmula matemática que indica a relação entre tensão, corrente e resistência.* Passe para o item 5.

3 *Se sua resposta para a pergunta no item 20 é B, está errada. Os prótons são muito pesados, em comparação com os elétrons. De fato, são 1.800 vezes mais pesados. Somente os elétrons mais leves são livres para movimentar-se num condutor.* Passe para o item 15.

4 *A resposta correta para a pergunta no item 23 é B. Fleming foi o homem que desenvolveu o diodo e o utilizou como detector para sinais de rádio.* Aqui está a próxima pergunta:

Um transmissor por faiscamento produz uma onda de rádio que cobre uma ampla faixa de freqüências. Este tipo de transmissão não foi usado durante muitos anos. Qual das respostas abaixo descreve melhor a razão pela qual os transmissores por faiscamento não são mais utilizados?

A **Seu custo de produção é muito alto** (passe para o item 24).
B **Utilizam tanto o espectro de rádio que apenas poucas estações podem estar no ar ao mesmo tempo** (passe para o item12).

5 *A resposta correta para a pergunta no item 16 é B. A ilustração mostra a montagem experimental para o efeito Edison.*
A lei de Ohm diz que o valor I (em ampères) da corrente no circuito é igual à tensão E, dividida pela resistência R. Isto é indicado pela equação $I = E/R$. Aqui está a próxima pergunta:

A corrente de elétrons flui

A **Do terminal negativo da fonte de tensão para o terminal positivo** (passe para o item 18).
B **Do terminal positivo da fonte de tensão para o terminal negativo** (passe para o item 22).

6 *Se sua resposta para a pergunta no item 12 é A, está errada. Um triodo amplifica um pequeno sinal num sinal maior. A capacidade da tensão negativa da grade para o fluxo de elétrons não é chamada amplificação.* Passe para o item 25.

7 *Se sua resposta para a pergunta no item 17 é A, está errada. Um diodo possui apenas uma placa (ou ânodo) e um filamento (ou cátodo). Não possui qualquer elemento para controlar o fluxo de elétrons do cátodo para o ânodo.* Passe para o item 20.

8 *Se sua resposta para a pergunta no item 26 é A, está errada. Os amperímetros nunca devem ser considerados como sendo uma fonte de pressão elétrica.* Passe para o item 23.

9 *Se sua resposta para a pergunta no item 1 é B, está errada. A camada Kennelly-Heaviside é chamada camada iônica ou ionosfera e reflete as ondas de rádio de volta para a Terra, porém não é conhecida como refletômetro iônico.*
Passe para o item 17.

10 *Se sua resposta para a pergunta no item 23 é A, está errada. Áudion é o nome dado por DeForest a sua válvula triodo.* Passe para o item 4.

11 *Se sua resposta para a pergunta no item 21 é B, está errada. Existem muitos usos diferentes para a palavra eletrônica, porém ela não é usada em relação à combinação de elementos.*
Passe para o item 16.

12 *A resposta correta para a pergunta no item 4 é B. Não pode existir um número ilimitado de estações de rádio e de televisão, mesmo que a cada estação seja determinado um comprimento de onda. Com transmissores por faiscamento, apenas poucas estações podiam transmitir ao mesmo tempo.*
Aqui está a próxima pergunta:

Qual das respostas abaixo descreve melhor a característica dos triodos que torna possível a amplificação dos sinais?

[A] **A grade de controle pode ser tornada suficientemente negativa para parar o fluxo de elétrons dentro da válvula** (passe para o item 6).
[B] **Uma pequena alteração na tensão da grade provoca uma alteração relativamente grande na corrente da placa** (passe para o item 25).

13 *Se sua resposta para a pergunta no item 25 é B, está errada. O tamanho do componente amplificador não pode ser diretamente relacionado com o sinal.* Passe para o item 19.

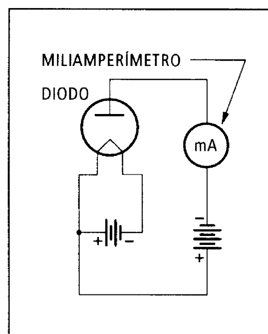


Fig. 1-8: Circuito para a pergunta do item 15.

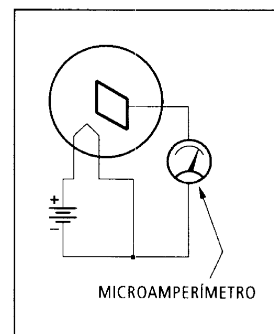


Fig. 1-9: Circuito para a pergunta do item 16.

14 *Se sua resposta para a pergunta no item 18 é A, está errada. Comece no terminal negativo da bateria na Figura 1-10 e acompanhe o caminho da corrente de elétrons de volta para a bateria.*
Passe agora para o item 26.

15 *A resposta correta para a pergunta no item 20 é A. Uma maneira de acompanhar um circuito consiste em seguir o caminho da corrente de elétrons, do terminal negativo da bateria, para o terminal positivo.*
Aqui está a próxima pergunta:

O miliamperímetro da Figura 1-8 irá indicar um fluxo de corrente?

[A] **Sim** (passe para o item 27).
[B] **Não** (passe para o item 21).

16 *A resposta correta para a pergunta no item 21 é A. O estudo de como os elementos são combinados para formar os diversos materiais é chamado* ***química****. Na eletrônica, o objetivo é encontrar meios para pôr os elétrons para trabalhar para nós.* Aqui está a próxima pergunta:

Uma placa metálica é colocada num invólucro em vácuo, junto com um filamento aquecido. Uma corrente flui quando for ligado um fio condutor entre a placa e o filamento. A Figura 1-9 mostra o circuito. Isto é conhecido como

[A] **Lei de Ohm** (passe para o item 2).
[B] **Efeito Edison** (passe para o item 5).

17 *A resposta correta para a pergunta no item 1 é A. A Ionosfera — como é mais comumente chamada — localiza-se na atmosfera superior a uma distância superior a 100 km, acima da superfície terrestre. Na realidade, consiste de várias camadas individuais que são identificadas por letras do alfabeto. Por exemplo, a camada D é presente apenas durante o dia. A camada F é dividida em duas camadas durante o dia, designadas por* F_1*, a 240 km acima da superfície terrestre, e* F_2 *a cerca de 320 km acima da superfície terrestre. Estas camadas se fundem numa única camada durante a noite. A camada E está a cerca de 120 km acima da superfície da Terra. Também desaparece após o pôr-do-sol.*

Cada uma dessas camadas tem uma influência sobre as comunicações. Os técnicos de rádio aprenderam a predizer com precisão as probabilidades de realização de comunicação em longa distância, por meio do estudo das características dessas camadas ionizadas.
Aqui está a próxima pergunta:

O *áudion de grade* inventado por DeForest, é considerado, por muitos, como o início da indústria eletrônica. Hoje em dia esta invenção é mais comumente conhecida como

A **Diodo**
(passe para o item 7).
B **Triodo**
(passe para o item 20).

18 *A resposta correta para a pergunta no item 5 é A. Convencionalmente, a corrente elétrica era sempre acompanhada através do circuito do terminal positivo da fonte de tensão até o terminal negativo. Isto é chamado de* ***fluxo convencional da corrente****. Neste livro iremos seguir o caminho dos elétrons. Em outras palavras, iremos usar o* ***fluxo da corrente de elétrons*** *que ocorre a partir do terminal negativo até o terminal positivo.*
Aqui está a próxima pergunta:

Na Figura 1-10 a direção de fluxo da corrente de elétrons, através de R_2, é

A **Do ponto *a* em direção ao ponto *b***
(passe para o item 14).
B **Do ponto *b* em direção ao ponto *a***
(passe para o item 26).

19 *A resposta correta para a pergunta no item 25 é A. A temperatura mais baixa de operação é uma vantagem muito importante do transistor sobre a válvula; o fato de o transistor não possuir um filamento significa não apenas que opera à temperatura mais baixa, mas também que é mais confiável.* A próxima pergunta é:

Um motor de corrente contínua é um exemplo de componente eletrônico?

.... **Sim ou Não**

(passe para o item 28).

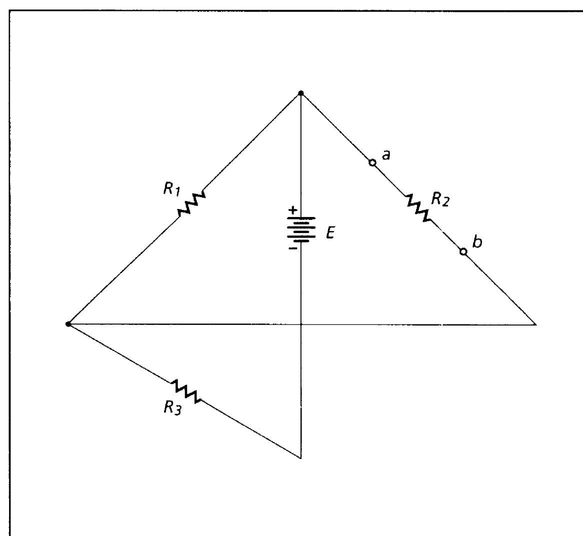


Fig. 1-10: Circuito para a pergunta do item 18.

20 *A resposta correta para a pergunta no item 17 é B. Desde a invenção do triodo, grades adicionais foram acrescentadas entre a grade de controle e o ânodo para conseguir efeitos especiais em alguns tipos de válvulas.* A próxima pergunta é:

Uma corrente elétrica passando num fio condutor pode ser considerada um fluxo de

A **Elétrons**
(passe para o item 15).
B **Prótons**
(passe para o item 3).

21 *A resposta correta para a pergunta do item 15 é B. A tensão negativa na placa do diodo repele os elétrons e nenhuma corrente de elétrons flui no circuito de placa.* A próxima pergunta é:

Qual das propostas abaixo descreve melhor a palavra eletrônica?

[A] **É o estudo do elétron e de como os elétrons podem ser postos para trabalhar**
(passe para o item 16).
[B] **É um estudo de como os 92 elementos básicos podem ser combinados para formar todos os materiais no mundo**
(passe para o item 11).

22 *Se sua resposta para a pergunta no item 5 é B, está errada. Para acompanhar uma corrente de elétrons, você começa no terminal negativo da fonte de tensão e acompanha todo o circuito, até o terminal positivo.* Passe para o item 18.

23 *A resposta correta para a pergunta do item 26 é B. Uma bateria ou um gerador fornecem tensão. Um amperímetro é um instrumento usado para medir corrente.* A próxima pergunta é:

Outro nome para a válvula Fleming é

[A] **Áudion**
(passe para o item 10).
[B] **Diodo a vácuo**
(passe para o item 4).

24 *Se sua resposta para a pergunta do item 4 é A, está errada. O custo não foi o fator decisivo para o abandono da transmissão por faiscamento.* Passe para o item 12.

25 *A resposta correta para a pergunta do item 12 é B. Com o triodo, assim como com o transistor, um pequeno sinal de entrada produz um grande sinal de saída. Isto é chamado amplificação.* A próxima pergunta é:

Qual das afirmações a seguir constitui uma vantagem de um transistor sobre uma válvula triodo?

[A] **O transistor não opera com um filamento, portanto opera a uma temperatura mais baixa e com menos problemas de manutenção**
(passe para o item 19).
[B] **Uma vez que o transistor é menor que a válvula, pode ser usado para amplificar sinais menores**
(passe para o item 13).

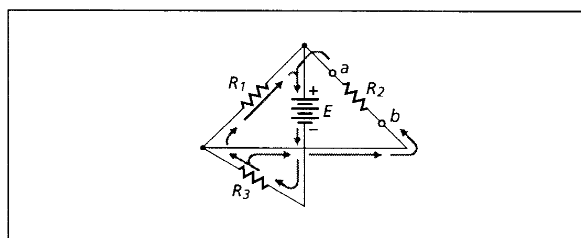


Fig. 1-11: Circuito para a pergunta do item 26.

26 *A resposta correta para a pergunta do item 18 é B. A Figura 1-11 mostra os caminhos da corrente de elétrons. Note que R_1 e R_2 estão em paralelo.* A próxima pergunta é:

A pressão elétrica para forçar uma corrente a fluir num circuito é fornecida por

[A] **Um amperímetro**
(passe para o item 8).
[B] **Uma bateria ou um gerador**
(passe para o item 23).

27 *Se sua resposta para a pergunta do item 15 é A, está errada. Observe que o terminal negativo da bateria B está ligado à placa da válvula.* Passe para o item 21.

28 *A resposta para a pergunta do item 19 é NÃO. Um motor elétrico é um componente elétrico, não um componente eletrônico.*

Você já completou as perguntas da revisão programada. A próxima etapa será colocar algumas dessas idéias em prática, em experiências de laboratório. Passe agora para a seção de Experiências deste capítulo.

EXPERIÊNCIAS

(A experiência descrita nesta seção pode ser realizada na placa de circuitos descrita no Anexo C ou numa montagem semelhante de laboratório.)

Um multímetro (volt-ohm-miliamperímetro) é necessário para realizar as experiências neste livro.



(Observe que o símbolo indicado à direita é usado em todo este livro para chamar sua **atenção** sobre uma explicação particularmente importante.

■ FINALIDADE

A finalidade desta experiência é mostrar que um diodo age como uma válvula para permitir o fluxo de corrente apenas num sentido.

■ TEORIA

Na primeira parte deste capítulo, você estudou sobre o efeito Edison e sobre a válvula Fleming. Válvulas diodo foram usadas nos equipamentos eletrônicos durante muitos anos, porém hoje prefere-se o *diodo semicondutor.*

São também chamados *diodos de estado sólido* e realizam o mesmo trabalho básico que as válvulas diodo. De fato, os modernos diodos de estado sólido substituíram quase completamente as válvulas diodo. Existem várias companhias diferentes que fabricam diodos e, por isso, eles podem ser marcados de formas diferentes. A prática usual consiste em marcar o cátodo de alguma maneira. A Figura 1-12 mostra alguns dos diodos atualmente em uso e mostram como você pode distinguir o cátodo do ânodo. O ânodo de um diodo de estado sólido é como a placa da válvula de Fleming e o cátodo é como o filamento. Assim, uma corrente de elétrons pode fluir do cátodo para o ânodo, porém não do ânodo para o cátodo.

A maioria das experiências deste livro requer o uso de uma fonte de alimentação de corrente contínua. A fonte indicada na Figura 1-13 é chamada fonte de onda completa. Você irá estudar os circuitos de alimentação no Capítulo 6.

Os diodos (X_1 e X_2) nesta fonte de alimentação permitem a passagem da corrente num único sentido, de modo que a saída da fonte de alimentação é de *corrente contínua.* A entrada é corrente de linha que passa no fio com mudança periódica de direção, de modo que é chamada *corrente alternada.*

PRIMEIRA PARTE

■ MONTAGEM DO TESTE

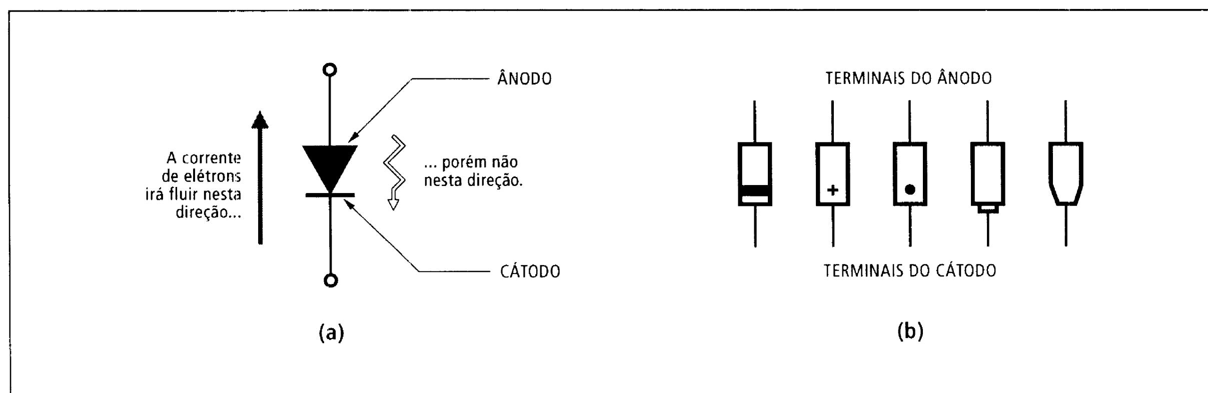
O diagrama esquemático para a fonte de alimentação de corrente contínua está indicado na Figura 1-13a e em diagrama chapeado na Figura 1-13b. Você deve aprender a fazer a ligação dos fios partindo do diagrama esquemático porque este é o tipo de desenho que as companhias fornecem com o equipamento.

■ PROCEDIMENTO

☐ *Etapa 1:* Efetue as ligações do circuito, conforme indicado na Figura 1-13.

☐ *Etapa 2:* Use o voltímetro de corrente alternada para medir a tensão sobre o secundário do transformador. Isto é, a tensão entre os pontos *a* e *b*.

Fig. 1-12: (**a**) Símbolo de um semicondutor e (**b**) maneira usual de identificar o terminal do cátodo em diodos semicondutores.



Esta tensão deve ser de cerca de 12 volts, de modo que você deve usar um aparelho de medição com escala superior a 12 volts.

Se você estiver medindo uma tensão e não souber seu valor aproximado, deve iniciar sua medição com o aparelho ajustado para a maior escala de medição. Reduza a escala de um passo a cada vez até que o ponteiro chegue à metade da escala.

☐ *Etapa 3:* Anote o valor da tensão alternada sobre o secundário.

.... **volts**

☐ *Etapa 4:* Use um voltímetro de corrente contínua para medir a tensão sobre a saída da fonte de alimentação. Isto é, a tensão entre os pontos *c* e *d*. Como no caso das medições de corrente alternada, se você não souber o valor aproximado da tensão que está sendo medida, deve começar com a escala mais alta do instrumento.

Passar para escala menor quando a agulha tiver se deslocado para a metade da escala.

Anotar a tensão de saída da fonte de alimentação:

.... **volts**

O fato de o circuito ter uma entrada de corrente alternada e uma saída de corrente contínua mostra para você que os diodos conduzem a corrente em apenas um sentido de direção.

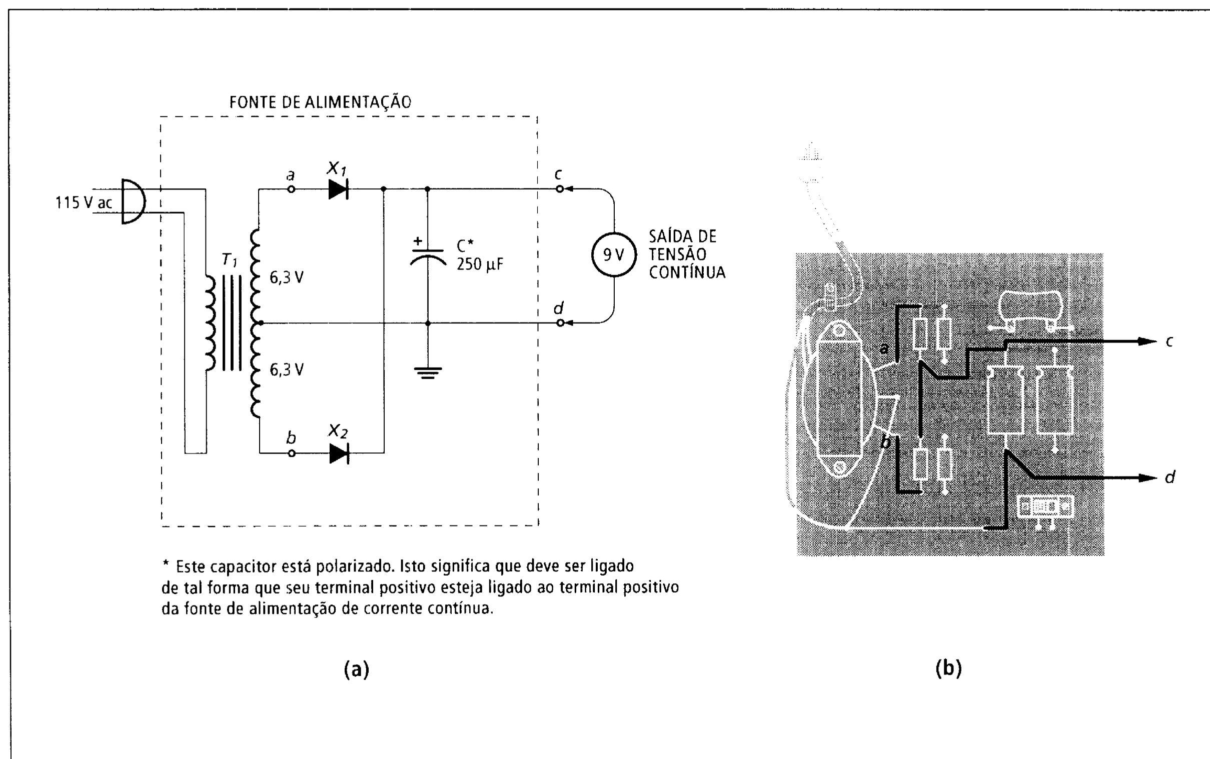
O capacitor é usado como filtro para manter a tensão de saída em um valor constante em corrente contínua. O uso desse capacitor de filtro será explicado para você no capítulo sobre fontes de alimentação (Capítulo 6).

SEGUNDA PARTE

■ TEORIA

Os diodos são às vezes usados em circuitos de chaveamento. A Figura 1-14 mostra para você uma maneira de obter isto.

Fig. 1-13: Montagem para a primeira parte da experiência: (a) diagrama esquemático; (b) diagrama chapeado.



Na Figura 1-14a quando a chave está na posição *a*, a fonte de alimentação fornece energia para R_{L1}. Quando a chave está na posição *b*, a fonte de alimentação fornece energia para R_{L2}. Na posição *c* não há fornecimento de energia a qualquer um dos dois resistores de carga.

Vamos supor que temos uma terceira carga – neste caso, uma lâmpada. Você quer que haja fornecimento de energia para a lâmpada toda vez que houver fornecimento de energia para R_{L1} ou R_{L2}. Você não quer que a lâmpada esteja *ligada* quando a chave estiver na posição *c*, porque neste caso não há fornecimento de energia para a carga.

A Figura 1-14b mostra como isto pode ser realizado. Os diodos são ligados em oposição. Quando a chave está na posição *a*, a lâmpada recebe corrente somente através de X_1.

Quando a chave está na posição *b*, a lâmpada recebe corrente somente através do diodo X_2. Na posição *c* nenhuma energia é fornecida para a lâmpada.

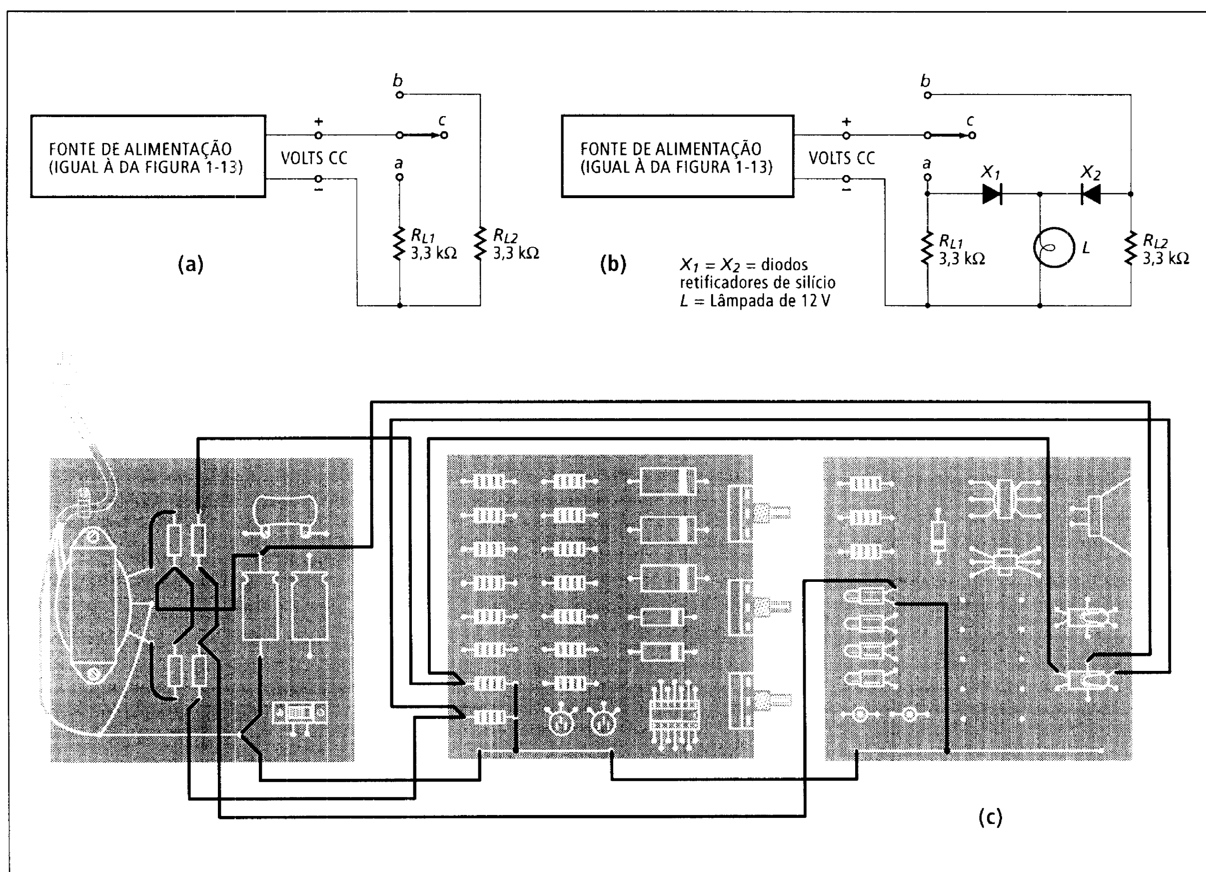
Você não poderia obter os mesmos resultados ligando um fio condutor entre os pontos *a* e *b*, em vez dos diodos. O fio condutor permitiria o fluxo da corrente em ambos os resistores, quer a chave estivesse na posição *a* ou na posição *b*.

O arranjo de diodos da Figura 1-14b é, às vezes, chamado circuito de diodos ou circuito lógico. A lâmpada está ligada se a chave estiver na posição *a* ou *b*, porém fica desligada quando a chave estiver na posição *c*.

■ MONTAGEM DO TESTE

Efetuar as ligações do circuito, conforme indicado na Figura 1-14b. Este é um diagrama esquemático. A Figura 1-14b mostra um diagrama chapeado da montagem do teste.

Fig. 1-14: Montagem para a segunda parte da experiência: (**a**) uma chave de três posições para controlar a potência para R_{L1} e R_{L2}; (**b**) montagem do teste; (**c**) montagem do teste chapeada.



■ PROCEDIMENTO

☐ *Etapa 1:* Girar a chave para a posição *a* e registrar os seguintes dados:

A lâmpada está ligada?

.... **Sim ou Não**

Existe tensão sobre R_{L1}?

.... **Sim ou Não**

Existe tensão sobre R_{L2}?

.... **Sim ou Não**

Se você tiver realizado corretamente as ligações do circuito e se os componentes funcionam, deve observar uma tensão sobre R_{L1}, a lâmpada deve estar ligada e não deve haver tensão alguma sobre R_{L2}. É muito importante que os diodos estejam adequadamente instalados. Se seu circuito não funcionar adequadamente, você deve iniciar sua procura de defeitos verificando as conexões para os diodos.

☐ *Etapa 2:* Girar a chave para a posição *b* e registrar os seguintes dados:

A lâmpada está ligada?

.... **Sim ou Não**

Existe tensão sobre R_{L1}?

.... **Sim ou Não**

Existe tensão sobre R_{L2}?

.... **Sim ou Não**

Você deve ter a lâmpada ligada e uma tensão sobre R_{L2}, porém não deve haver tensão alguma sobre R_{L1}.

■ CONCLUSÃO

Um diodo irá apenas permitir o fluxo de corrente num sentido só, de modo que pode ser usado para converter corrente alternada em contínua. Nesta aplicação o diodo é chamado *retificador.*

Um diodo pode também ser usado como componente do chaveamento. Nesta experiência, você demonstrou o uso de diodos num circuito lógico simples, chamado *circuito OR.* Os primeiros computadores usavam muitos diodos nessa aplicação.

AUTOTESTE COM RESPOSTAS

(As respostas com discussões encontram-se no final do capítulo / pág.16.)

1. Uma válvula diodo irá conduzir uma corrente de elétrons quando

(a) sua placa (ou ânodo) é positiva em relação ao seu filamento (ou cátodo);

(b) sua placa (ou ânodo) é negativa em relação ao seu filamento (ou cátodo).

2. Uma onda de rádio pode ser produzida por

(a) um diodo;

(b) um áudion de grade;

(c) um gerador de faíscas;

(d) um resistor.

3. Outro nome da camada Kennelly-Heaviside é

(a) atmosfera;

(b) ionosfera;

(c) troposfera;

(d) estratosfera.

4. O componente que Edison usou na experiência, e que levou à descoberta do efeito de Edison foi

(a) um diodo;

(b) um triodo.

5. Ao acompanhar o caminho da corrente de elétrons num circuito, é preciso

(a) começar no terminal positivo da fonte de tensão;

(b) começar a partir do maior resistor no circuito;

(c) começar na antena;

(d) começar no terminal negativo da fonte de tensão.

6. Qual dos seguintes componentes pode ser usado para fornecer pressão elétrica num circuito?

(a) um diodo;

(b) um motor;

(c) um triodo;

(d) uma bateria.

7. A razão pela qual não se usam hoje ondas de rádio produzidas por faíscas em rádio-comunicação é:

(a) porque é muito difícil produzi-las;

(b) o seu custo é muito elevado;

(c) não podem ser amplificadas;

(d) porque possuem uma faixa muito ampla de freqüências.

8. Qual das seguintes propostas é uma vantagem do transistor sobre o diodo?

(a) o transistor não requer tensão para sua operação;

(b) o transistor opera a uma temperatura mais elevada;

(c) o transistor não possui filamento;

(d) o transistor possui um efeito Edison.

9. Fleming chamou sua válvula de dois elementos de

(a) válvula;

(b) diodo;

(c) áudion;

(d) válvula a vácuo.

10. O triodo tornou possível a amplificação dos sinais. Ele foi inventado:

(a) em 1926;

(b) por Hertz;

(c) por DeForest;

(d) em 1922.

RESPOSTAS DO AUTOTESTE

1. (a) - Quando o ânodo de um diodo é positivo, com relação ao seu cátodo, diz-se do diodo que é *polarizado diretamente* e ele irá conduzir uma corrente de elétrons.

2. (c) - Uma faísca entre dois eletrodos metálicos produz ondas de rádio. O espaço entre os eletrodos é chamado *abertura de faiscamento*.

3. (b) - Na realidade, a ionosfera é formada por várias camadas identificadas por letras do alfabeto.

4. (a) - O componente de Edison consistia de um filamento e de uma placa metálica num invólucro de vidro no qual era feito o vácuo. Isto é de fato um diodo.

5. (d) - Se você começar sempre no terminal negativo e voltar para a bateria no terminal positivo, terá certeza de ter coberto o circuito completo.

6. (d) - Uma bateria fornece tensão que pode ser considerada uma pressão elétrica.

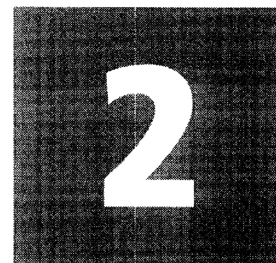
7. (d) - A ampla gama de freqüências significa que apenas poucas estações irão ocupar uma faixa inteira. Hoje, um número muito maior de estações pode transmitir na mesma faixa.

8. (c) - O filamento faz com que a válvula opere a temperaturas mais elevadas. Além disso o filamento pode queimar-se de modo que a válvula é menos confiável que o transistor. Essas são duas desvantagens das válvulas, em comparação com os transistores.

9. (a) - Fleming chamou seu componente de válvula porque este permitia o fluxo da corrente apenas num sentido.

10. (d) - DeForest anunciou a invenção do áudion, ou triodo, em 1906.

Quais são os componentes de dois terminais usados em circuitos eletrônicos?



INTRODUÇÃO

Uma boa maneira para iniciar o estudo de circuitos eletrônicos é conhecer seus componentes básicos. Neste capítulo, você irá estudar os componentes de dois terminais. Estes possuem apenas duas conexões elétricas para fluxo de sinais ou fluxo de corrente ou para ligação a uma fonte de tensão. Resistores, capacitores, indutores e diodos são exemplos de componentes de dois terminais usados freqüentemente em circuitos eletrônicos.

O anexo B mostra alguns símbolos esquemáticos para os componentes discutidos neste livro. Dois ou três símbolos diferentes podem ser usados para alguns dos componentes. Isto porque os símbolos usados em desenhos de *eletrônica industrial* são diferentes daqueles usados em *eletrônica comercial**.

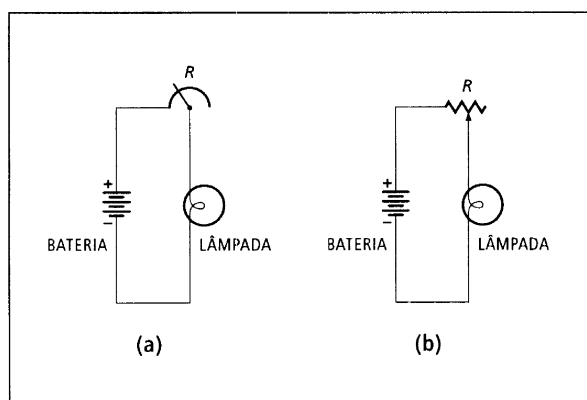


Fig. 2-1: Ambos os circuitos são idênticos em função, porém usa-se um símbolo diferente para o resistor variável (*R*): (a) o símbolo para o resistor variável *(R)* indicado neste circuito é mais freqüentemente usado em diagramas eletrônicos industriais;
(b) o símbolo para os resistores variáveis pode ser usado em diagramas esquemáticos em eletrônica industrial e é comumente usado em outros diagramas eletrônicos esquemáticos.

* *Eletrônica comercial* refere-se a equipamentos, tais como: aparelhos de televisão, rádio AM/FM e amplificadores de rádio.

A Figura 2-1 mostra como símbolos diferentes podem ser usados para representar o mesmo componente. Você deve familiarizar-se com todos os símbolos. Porém, neste livro iremos apenas usar os símbolos de eletrônica comercial.

Você poderá responder às seguintes perguntas depois de estudar este capítulo:

- **Para que são usados os resistores?**
- **O que são os termistores e os VDRs?**
- **Para que são usados os capacitores?**
- **O que são capacitores variáveis?**
- **Para que são usados os indutores?**
- **Para que são usados os diodos?**

INSTRUÇÃO

Para que são usados os Resistores?

No que diz respeito à sua capacidade de conduzir corrente elétrica todos os materiais podem ser classificados como isolantes, semicondutores ou condutores. Isolantes como borracha e vidro não deixam passar facilmente uma corrente elétrica. Os condutores como o cobre e o alumínio deixam passar uma corrente sem quase oposição. Os semicondutores deixarão passar uma corrente elétrica, porém com alguma oposição. Um resistor é um exemplo de um componente semicondutor.

Toda vez que uma corrente flui através de um resistor ocorrem dois efeitos:

- Sempre há produção de calor.
- Sempre ocorre uma queda de tensão.

Existem três aplicações principais para os resistores. Você deve sempre lembrar-se disto ao estudar circuitos eletrônicos.

- **Os resistores são usados para limitar corrente.**
- **Os resistores são usados para introduzir uma queda de tensão.**
- **Os resistores são usados para gerar calor.**

A Figura 2-2 mostra exemplos dessas aplicações.

O efeito do resistor é o de reduzir a corrente através do motor e isto reduz sua velocidade. O resistor *R* é usado para limitar o fluxo de corrente.

A Figura 2-2b mostra como um resistor pode ser usado como divisor de tensão. Uma lâmpada de 3 volts deve ser ligada a uma fonte de 12 volts. Se você ligar a lâmpada diretamente à bateria ela irá queimar-se. Ligando-a em série com o resistor *R*, conforme indicado na ilustração, a lâmpada não irá queimar-se.

A queda de tensão sobre o resistor é de 9 volts e os 3 volts restantes sofrem queda sobre a lâmpada. Observe que a soma das quedas de tensão deve ser igual à tensão aplicada que é de 12 volts neste caso. Isto é sempre certo.

A Figura 2-2a mostra como um resistor pode ser usado para gerar calor. O invólucro tracejado é uma *estufa para cristal.* Um cristal é um componente vibratório que produz uma freqüência alternada bastante exata, porém somente se sua temperatura for mantida constante. Um cristal, um resistor e um sensor são alojados na estufa para cristal. A corrente que passa através do resistor produz calor. O sensor determina quando a corrente do resistor precisa ser ligada ou desligada, de modo que a temperatura na estufa não seja nem alta nem baixa demais.

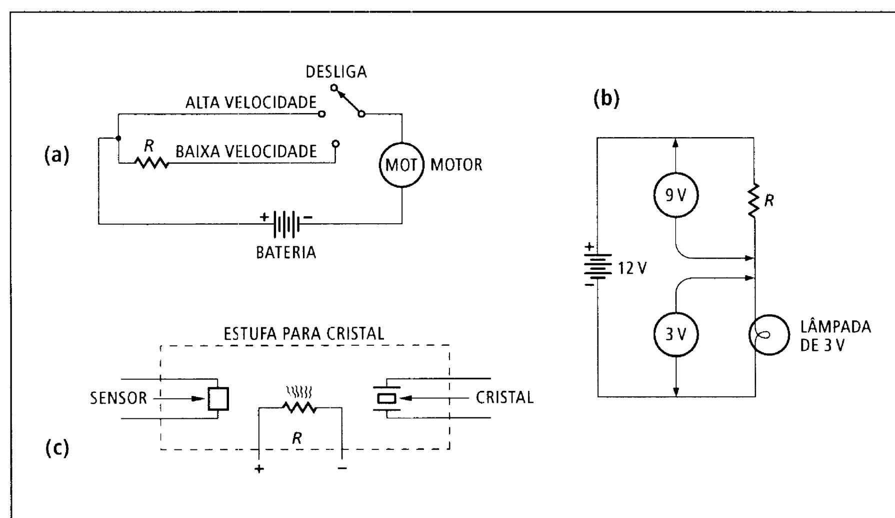


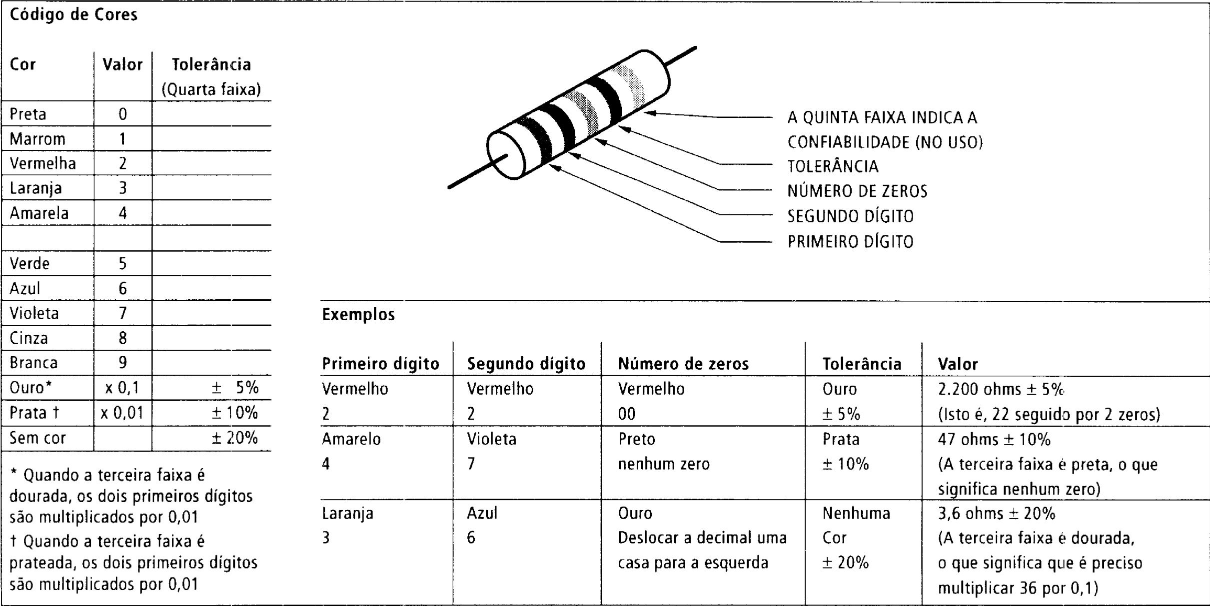
Fig. 2-2: Resistores fixos podem ser usados para **(a)** limitar corrente; **(b)** dividir tensão; **(c)** gerar calor.

Na Figura 2-2a a velocidade do motor de corrente contínua é controlada mudando a intensidade da corrente que passa através do mesmo. Quando a chave está na posição "Desliga" não há fluxo de corrente algum e o motor pára. Quando a chave é girada para a posição "ALTA VELOCIDADE", não há resistência no circuito e a corrente máxima flui através do motor. Nestas condições, a velocidade do motor é máxima. Quando a chave está na posição "BAIXA VELOCIDADE", a corrente do motor deve fluir através do resistor *R*.

O que é um Ohm?

A resistência é o valor da oposição ao fluxo da corrente num circuito. É medida em *ohms*. Um ohm é uma unidade que diz quanta oposição um resistor oferece ao fluxo da corrente. Quanto maior a resistência em ohms, maior a oposição à corrente.

Valores maiores da resistência são expressos em kilohms (K) ou megaohms (M). Um kilohm equivale a 1.000 ohms. Uma resistência de 100 K significa 100.000 ohms. Um megaohm equivale a um milhão de ohms. Uma resistência de 4,7 M significa 4,7 milhões de ohms.



Código de Cores

Cor	Valor	Tolerância (Quarta faixa)
Preta	0	
Marrom	1	
Vermelha	2	
Laranja	3	
Amarela	4	
Verde	5	
Azul	6	
Violeta	7	
Cinza	8	
Branca	9	
Ouro*	x 0,1	± 5%
Prata †	x 0,01	± 10%
Sem cor		± 20%

* Quando a terceira faixa é dourada, os dois primeiros dígitos são multiplicados por 0,01

† Quando a terceira faixa é prateada, os dois primeiros dígitos são multiplicados por 0,01

Exemplos

Primeiro dígito	Segundo dígito	Número de zeros	Tolerância	Valor
Vermelho 2	Vermelho 2	Vermelho 00	Ouro ± 5%	2.200 ohms ± 5% (Isto é, 22 seguido por 2 zeros)
Amarelo 4	Violeta 7	Preto nenhum zero	Prata ± 10%	47 ohms ± 10% (A terceira faixa é preta, o que significa nenhum zero)
Laranja 3	Azul 6	Ouro Deslocar a decimal uma casa para a esquerda	Nenhuma Cor ± 20%	3,6 ohms ± 20% (A terceira faixa é dourada, o que significa que é preciso multiplicar 36 por 0,1)

Fig. 2-3: Como os valores da resistência são determinados por código de cores.

O que são os Resistores de Carvão?

Resistores fixos podem ser feitos de carvão, óxidos metálicos, silício, germânio ou outros materiais semicondutores.

Resistores de carvão (ou *resistores de composição de carbono* como são mais corretamente chamados) são disponíveis numa ampla gama de valores de resistência e potência. São os resistores mais baratos e os mais comumente usados.

Como são marcados os valores da resistência nos Resistores de Carvão?

O valor da resistência e a porcentagem de tolerância de um resistor de carvão são determinados por faixas coloridas com código de cores. A Figura 2-3 explica como se usa o código de cores para indicar os valores de resistência e as tolerâncias.

Tabela 2-1: Valores normalizados de resistência para resistores com composição de carbono*.

Tolerância 5%	Tolerância 10%	Tolerância 20%
10	10	10
11		
12	12	
13		
15	15	15
16		
18	18	
20		
22	22	22
24		
27	27	
30		
33	33	33
36		
39	39	
43		
47	47	47
51		
56	56	
62		
68	68	68
75		
82	82	
91		
100	100	100

* Multiplicar os valores fornecidos aqui por qualquer múltiplo de 10.
Exemplos: 470 ohms + 10%, 62 kΩ ± 5% e 3,3 megaohms são valores normalizados. Porém, valores de 450 ohms, 65 kΩ e 3,5 megaohms não são valores normalizados.
Valores não normalizados podem ser obtidos usando combinações em série ou em paralelo.

O código de cores indica qual é o valor da resistência que este resistor deve ter. Porém, os resistores raramente têm exatamente esse valor. É permitida uma diferença em relação a esse valor em uma quantidade chamada *tolerância*. Por exemplo, uma tolerância de mais ou menos 5% significa que a resistência pode ter 5% a mais que o valor da resistência dada pelo código de cor ou 5% a menos.

Vamos supor que um resistor tenha uma resistência com valor de 100 ohms e uma tolerância de mais ou menos 5%. Cinco por cento de 100 é 5 (ou seja, 100 x 0,05 = 5). O valor mais alto que o resistor pode ter e ainda estar dentro da sua tolerância é 100 + 5 = 105 ohms. O valor mais baixo é 100 - 5 = 95 ohms. Logo, o valor de um resistor ou 100 ohms (5%) está entre 95 e 105 ohms.

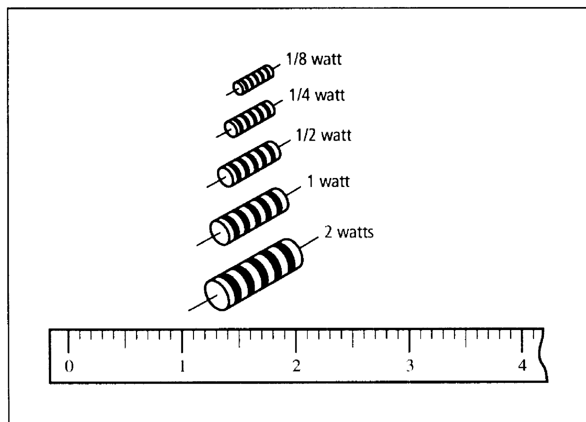


Fig. 2-4: A potência nominal de um resistor com composição de carbono é determinada pelo seu tamanho físico.

A Tabela 2-1 mostra os valores normalizados usados para resistores de carvão. Se você comprar um resistor de carvão, deve ter um dos valores de resistência determinados na Tabela 2-1.

Qual é o significado de Potência e como se determina a mesma?

Além da resistência e da tolerância, o resistor recebe uma capacidade nominal em watts. Isto irá indicar quanto calor este resistor pode suportar em uso normal sem se queimar. Em regra geral, os resistores maiores podem suportar mais calor que os resistores menores.

A Figura 2-4 mostra a capacidade em watts de resistores de carvão. Observe que a capacidade é determinada pelo tamanho físico.

O que são Resistores de Fio Enrolado?

Resistências de fio enrolado são obtidas enrolando um fio de resistência – isto é, um fio com alta resistência por centímetro – sobre um núcleo isolado. A estrutura é selada para impedir a entrada de ar e de umidade. Resistores com fio enrolado são geralmente usados quando são necessárias maiores capacidades em watts [acima de 2 watts (W)]. O valor da resistência e a capacidade em watts de um resistor de fio enrolado estão geralmente impressos na capa externa.

RESUMO

1. Um componente de dois terminais possui duas conexões elétricas. Resistores, capacitores, indutores e diodos são exemplos de componentes de dois terminais.
2. Quando uma corrente flui através de um resistor existem sempre dois efeitos: é gerado calor e ocorre uma queda da tensão sobre o resistor.
3. Resistores são usados em circuitos eletrônicos para limitar a corrente, introduzir uma queda de tensão ou gerar calor.
4. Resistores de carvão possuem um código de cores. Este código de cores indica o valor da resistência e a tolerância.
5. O valor da tolerância de um resistor indica a faixa admissível de valores da resistência.
6. A wattagem de um resistor é determinada pelo seu tamanho.
7. Quanto maior a wattagem, mais calor o resistor pode suportar sem se queimar.
8. Resistores de carvão são fabricados somente em "valores preferenciais". Outros valores são obtidos ligando-os em série ou em paralelo.

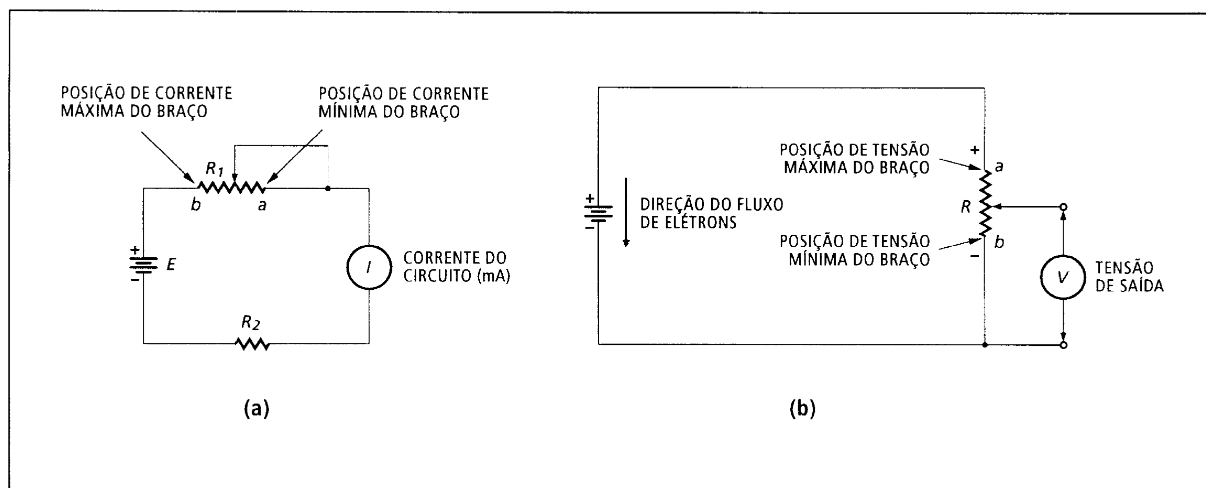


Fig. 2-5: Um resistor variável pode ser ligado (**a**) como reostato; (**b**) como potenciômetro.

O que são Resistores Variáveis?

Um resistor variável pode ser ajustado para qualquer valor desejado, dentro de sua faixa e pode ser ligado de duas formas dentro de um circuito. Quando um resistor variável é ligado num circuito de forma que a corrente varia, é chamado *reostato*. Quando um resistor variável é ligado para fazer variar uma tensão, é chamado *potenciômetro*. O mesmo tipo de resistor variável pode ser usado para ambas as aplicações.

A Figura 2-5 mostra os dois tipos de conexões. Observe que o reostato na Figura 2-5a possui uma conexão com dois terminais e o potenciômetro na Figura 2-5b possui uma conexão com três terminais.

Na Figura 2-5a o resistor variável é ligado em série com um medidor para medir o fluxo da corrente. Quando o *braço* do resistor (indicado pela seta no símbolo) for deslocado para o ponto *a*, toda a resistência de R_1 está no circuito e a corrente é mínima.

Conforme o braço for deslocado em direção ao ponto *b*, valores sempre menores de resistência são introduzidos no circuito, de modo que a corrente aumenta. Quando o braço está no ponto *b*, não há resistência no circuito. O fio do braço foi um curto sobre R_1 nesta posição e o fluxo de corrente é máximo.

O resistor R_2 limita o fluxo de corrente na Figura 2-5a. Sem este resistor haveria um fluxo muito grande de corrente no amperímetro, quando o braço estivesse na posição *b*.

Na Figura 2-5b o resistor variável está ligado sobre a fonte de tensão e o braço é deslocado entre os pontos *a* e *b*. No ponto *a*, a *tensão máxima* irá ocorrer nos terminais de saída. Quando o braço estiver na posição *b*, não haverá qualquer tensão de saída.

Como é estabelecida a capacidade dos Resistores Variáveis?

Resistores variáveis (geralmente chamados potenciômetros) são determinados pela sua resistência máxima. Um resistor variável de 10 k possui uma faixa de resistência de 0 até 10.000 ohms.

Lembre-se de que "K" significa *multiplicar por 1.000*. Como no caso de resistores fixos, os potenciômetros são também determinados pela sua wattagem. Isto é uma indicação de quanto calor o potenciômetro pode dissipar sem ser destruído.

A seguir, temos uma regra muito importante que precisa ser lembrada na substituição de qualquer tipo de resistor num circuito:

Regra: **Nunca substituir um resistor ou um resistor variável por outro de menor capacidade em watts.**



(Observe que o símbolo indicado à direita é usado em todo o livro como símbolo de cuidado. Ele irá chamar sua atenção sobre detalhes especialmente importantes para sua segurança pessoal e/ou a operação segura do equipamento.)

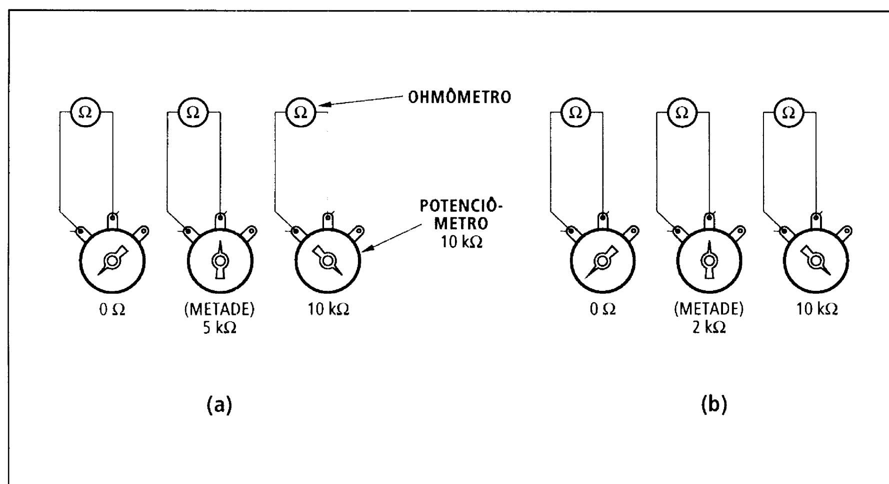


Fig. 2-6: Resistores variáveis possuem um gradiente: (**a**) este possui um gradiente linear; (**b**) este possui um gradiente não-linear.

Um terceiro método para identificar resistores variáveis é por seu *gradiente.* Isto é simplesmente uma maneira de dizer como o valor da resistência varia com a rotação do eixo (vide Figura 2-6).

Na Figura 2-6a a resistência aumenta diretamente com a rotação do eixo. Você poderá notar que no ponto médio a resistência é igual à metade da resistência total. Este tipo de resistor é chamado de resistor com *gradiente linear* (ou potenciômetro linear).

Na Figura 2-6b, o valor da resistência não está em relação direta com a rotação do eixo. Observe aqui que, quando o eixo for girado até a metade do curso, a resistência é menor que a metade da resistência total. Este tipo de resistor é de gradiente *não-linear.*

Resistores variáveis usados para controles de volume em aparelhos de rádio e televisão possuem um gradiente não-linear. Isto porque o ouvido não reage da mesma forma a pequenos aumentos de volume quando o som for baixo como reage quando for alto. Usando um potenciômetro não-linear, a mudança de volume parece ser a mesma quando o potenciômetro for alterado de certa quantidade em volume alto e em volume baixo.

O que são os Termistores e os VDRs?

Além dos resistores fixos e os resistores variáveis, existem alguns tipos especiais de resistores. Dois exemplos importantes são os *termistores* e os *varistores* (VDRs).

A resistência de um termistor sofre uma alteração muito grande quando sua *temperatura* é alterada ligeiramente. Quando sua temperatura é baixa, sua resistência é alta e, quando a temperatura é alta, sua resistência é baixa.

A resistência de um *varistor* ou VDR (resistor dependente de tensão) sofre uma alteração muito grande quando a tensão sobre o mesmo for alterada. Quando a tensão sobre o varistor for baixa, sua resistência é alta. Quando a tensão sobre um varistor for alta, sua resistência é baixa.

Os termistores são usados como sensores em circuitos que medem ou controlam a temperatura. Por exemplo, o sensor na Figura 2-2c pode ser um termistor. Os varistores são usados para limitar a tensão sobre os componentes que poderiam ser danificados por altos valores da tensão.

RESUMO

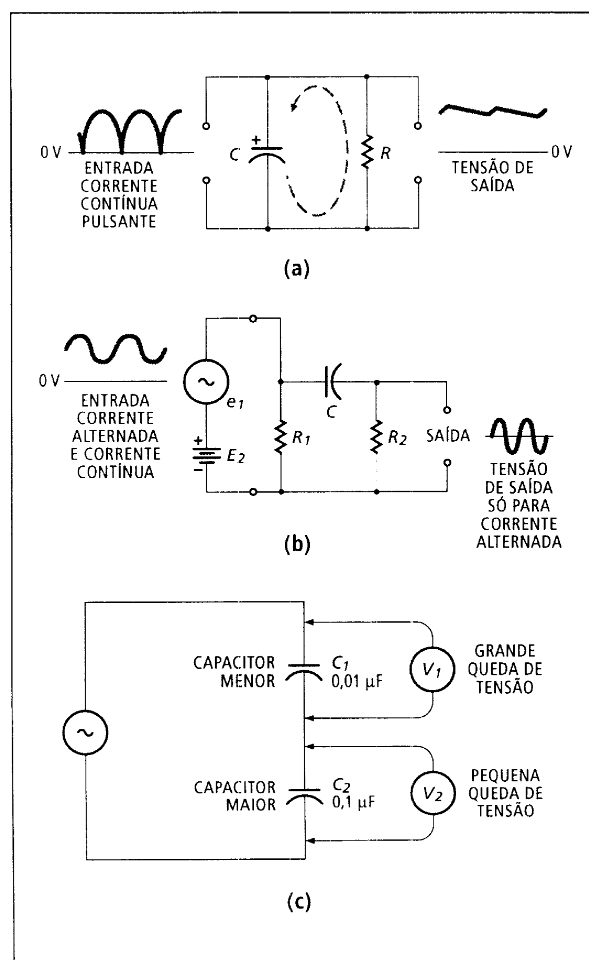
1. Resistores variáveis podem ser ligados como *reostatos* para variar a corrente ou como *potenciômetros* para variar a tensão.
2. Ao substituir um resistor variável num circuito, é preciso ter o cuidado de obter a faixa exata de valores de resistência, a mesma wattagem e o mesmo gradiente.
3. Os termistores sofrem grande alteração da resistência com uma pequena alteração de sua temperatura.
4. Um varistor apresenta uma grande alteração da resistência com uma pequena alteração da tensão sobre o mesmo.

Para que são usados os capacitores?

Os capacitores podem ser definidos de duas maneiras. São componentes que armazenam energia na forma de um campo eletrostático. Também são componentes que resistem a qualquer mudança de tensão sobre seus terminais. Estas duas definições descrevem, na realidade, os principais usos dos capacitores em circuitos – isto é, armazenar energia e opor-se a alterações da tensão.

Duas outras aplicações importantes dos capacitores são de deixar passar freqüências elevadas, opondo-se, ao mesmo tempo, à passagem de baixas freqüências e de dividir uma tensão. A Figura 2-7 mostra exemplos de aplicações de capacitores.

Fig. 2-7: Aplicações de capacitores para (a) armazenar energia; (b) acoplamento seletivo; (c) medição de tensão.



A Figura 2-7a mostra um circuito de filtro simples. Nesta aplicação a tensão de entrada é uma tensão pulsante contínua. Apesar da tensão de entrada variar de zero até o máximo, a tensão de saída é mantida em um valor contínuo quase constante. A função do capacitor nesta aplicação é armazenar energia da onda de entrada e liberar esta energia para a saída, conforme necessário.

Outra maneira de olhar o circuito da Figura 2-7a é dizer que o capacitor *C* opõe-se a qualquer mudança da tensão sobre seus terminais. Portanto, apesar da tensão de entrada ser variável, a tensão de saída é mantida em um valor constante.

A Figura 2-7b mostra como um capacitor pode ser usado para deixar passar freqüências elevadas e rejeitar baixas freqüências. Nesta aplicação, a baixa freqüência é uma tensão contínua, com freqüência de 0 hertz (Hz). A tensão aplicada ao circuito consiste de um gerador de corrente alternada em série com uma bateria. Deseja-se passar o sinal do gerador de corrente alternada para os terminais de saída e ao mesmo tempo impedir a passagem da tensão contínua. Ambas as tensões são desenvolvidas sobre R_1. O capacitor C_1 irá deixar passar a tensão alternada, porém não pode deixar passar a tensão contínua.

Portanto, a tensão desenvolvida sobre R_2 e, portanto, a tensão do sinal de saída consiste apenas de tensão alternada. Este tipo de circuito é usado para acoplar sinais entre amplificadores.

A Figura 2-7c mostra como dois capacitores podem ser usados como divisores de tensão. Observe que C_1 possui uma capacitância menor [(0,01 microfarad (µF)] do que C_2 (0,1 microfarad). Os dois capacitores são ligados em série sobre uma fonte de tensão alternada. Como você pode ver na ilustração, a *maior* queda de tensão ocorre sobre o capacitor *menor*. Isto é um ponto importante a lembrar. Quanto maior o capacitor, menor a queda de tensão sobre o mesmo. Isto é sempre certo, quer a tensão aplicada seja alternada ou contínua.

O que é o Farad?

A capacitância de um capacitor é medida em *farads* (F). O farad é uma unidade que representa a quantidade de energia que o capacitor pode armazenar. Quanto maior for o valor da capacitância, maior será a quantidade de energia que o capacitor pode armazenar.

O farad é uma unidade grande demais para a maioria dos trabalhos práticos, de modo que é usado

mais freqüentemente o *microfarad* (μF). Um microfarad equivale a um milionésimo de farad. Um *picofarad* (ρF) equivale a um milionésimo de milionésimo de farad, ou a um milionésimo de microfarad. Existe também a unidade chamada *nanofarad* (ηF) que equivale a um milésimo de microfarad. É recomendado sempre substituir um capacitor por outro com o mesmo valor de capacitância.

O que é uma Reatância Capacitiva?

É a oposição que um capacitor oferece ao fluxo de corrente alternada. É medida em ohms. Quanto maior a capacitância, mais baixa será a reatância ou oposição ao fluxo da corrente alternada. Da mesma forma, quanto mais alta for a freqüência, menor será a oposição que um capacitor oferecerá ao fluxo de corrente. Matematicamente,

$$Xc = \frac{1}{2\ \ fC}$$

em que, Xc = reatância capacitiva em ohms
= 3,14
f = freqüência em hertz
C = capacitância em farads.

Essa equação simplesmente diz que a reatância é inversamente proporcional à freqüência e à capacitância. Em outras palavras, se você *aumentar* a freqüência ou a capacitância, a reatância irá *diminuir*. Os capacitores são, às vezes, chamados *componentes reativos* porque reagem contra o fluxo de corrente alternada. Os resistores são não-reativos porque se opõem igualmente ao fluxo da corrente alternada e da corrente contínua.

Qual é o significado da Tensão Nominal de um Capacitor?

Não existe um isolante perfeito. Se você aplicar uma tensão suficiente sobre qualquer material isolante – como vidro ou ar – o mesmo irá conduzir eletricidade.

Isso significa que existe um limite para o valor da tensão que se pode aplicar sobre um capacitor. Se a tensão for demasiadamente elevada, uma faísca irá pular entre as placas. Em alguns tipos de capacitores, essa faísca irá destruir o *dielétrico* – isto é, o isolamento entre as placas do capacitor.

A tensão nominal de um capacitor é o valor da tensão que pode ser aplicada sobre o capacitor sem provocar uma faísca.

Você pode substituir um capacitor por outro com tensão nominal mais alta, mas nunca substituir um capacitor por outro de tensão nominal mais baixa.

Alguns tipos de Capacitores fixos

Um capacitor básico é obtido usando-se duas placas metálicas separadas por um dielétrico. Quanto menor for o espaço entre as placas (quanto mais fino o dielétrico), maior será o valor da capacitância. A Figura 2-8 mostra um capacitor simples, usando ar como dielétrico. A maioria dos capacitores fixos usa um dielétrico feito de algum tipo de material isolante.

Os *capacitores fixos* possuem um valor único de capacitância. São geralmente identificados pelo tipo de material usado como dielétrico entre as placas. O capacitor na Figura 2-8 é chamado *capacitor a ar*. Iremos agora discutir alguns outros exemplos de capacitores usados em circuitos eletrônicos. Capacitores com *dielétrico de vácuo* possuem uma alta capacidade de tensão de ruptura, porém são fornecidos com valores muito baixos de capacitância. O valor máximo disponível é geralmente cerca de 1 nanofarad (um milésimo de microfarad).

O dielétrico de papel usado em *capacitores de papel* pode ser revestido com cera ou algum outro material isolante. Quando uma película plástica for usada em vez de papel, é chamado *capacitor de filme*. As placas consistem de uma camada metálica ou de uma folha metálica em cada lado do papel ou da película.

Se o metal for pulverizado diretamente sobre o papel ou o plástico, durante a fabricação do capacitor, o capacitor é chamado *capacitor de papel metalizado* ou *plástico metalizado*.

Uma faixa preta em volta do capacitor numa das extremidades indica o terminal ligado à folha metálica externa. Este terminal deve ser ligado, sempre que possível, ao lado terra do circuito.

Os *capacitores de mica* são obtidos empilhando pequenas tiras metálicas usadas como placas e separando-as por um dielétrico de mica.

Os *capacitores de prata-mica* são obtidos depositando uma camada de prata diretamente sobre as superfícies de mica para servir como placas do capacitor.

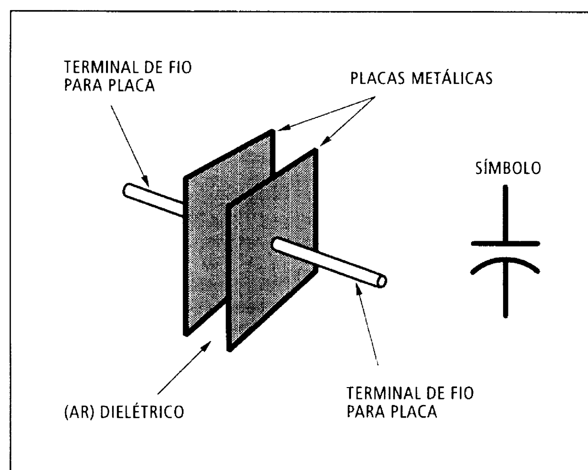


Fig. 2-8: Capacitor simples usando ar como dielétrico.

São geralmente fabricados com valores de capacitância entre 10 picofarads e 0,01 microfarad e com altas tensões nominais de 5.000 volts ou até mais.

Os *capacitores de cerâmica* usam como dielétrico algum tipo de material cerâmico. Proporcionam altos valores de capacitância em forma compacta. São fabricados na gama de capacitâncias de 0,1 picofarad até 10 microfarads.

O *coeficiente de temperatura* indica quanto a capacitância varia quando a temperatura muda. Um valor *positivo* significa que a capacitância *aumenta* quando a temperatura aumenta. Um valor negativo significa que a capacitância *diminui* quando a temperatura *diminui*. Um valor chamado NPO (negativo-positivo-zero) significa que o valor da capacitância não varia com a temperatura.

Você deve assegurar que está utilizando o mesmo coeficiente de temperatura e os mesmos valores de capacitância e de tensão quando for substituir capacitores de cerâmica. A razão para isto é que os circuitos são, às vezes, projetados com certas características de temperatura. Evidentemente, é também importante usar um substituto exato para as características de capacitância e de tensão.

Os *capacitores de vidro* são obtidos empilhando-se camadas de placas de folha de alumínio e dielétricos de fibra de vidro. São fornecidos em valores de capacitância desde 0,5 picofarad até 10 nanofarads e com tensões nominais de 6.000 volts. Seus valores de capacitância são geralmente impressos na capa. Uma característica importante dos capacitores de vidro é o fato de que conservam seu valor de capacitância durante um longo período de tempo.

Os *capacitores eletrolíticos* apresentam valores muito altos de capacitância, porque seu dielétrico consiste de uma *camada muito fina* de óxido metálico. Dois tipos são comumente usados. Os capacitores *eletrolíticos de alumínio* possuem um dielétrico de óxido de alumínio. O óxido de tântalo é usado como dielétrico em capacitores *eletrolíticos de tântalo*. Os capacitores eletrolíticos de alumínio são mais comumente usados por causa de seu custo mais baixo.

Os capacitores eletrolíticos são *polarizados* – isto é, podem ser ligados somente em circuitos pulsantes de corrente contínua, como o circuito indicado na Figura 2-7a. Os valores da capacitância e as tensões nominais para os capacitores eletrolíticos são impressos na capa. O símbolo para um capacitor eletrolítico apresenta um sinal de mais (+) ao lado de uma das placas (verificar isto no anexo B).

Capacitores de Poliéster e Cerâmica

Capacitor de poliéster é uma espécie de capacitor fixo que tem como dielétrico, uma ou mais camadas muitas finas (filme) de material plástico chamado poliéster. Este tipo de capacitor é muito empregado atualmente nos aparelhos e equipamentos eletrônicos. São encontrados no comércio, valores que vão desde 1000 picofarads até 2 ou 3 microfarads. A tensão de isolamento (capacidade do dielétrico para suportar tensões elétricas sem se romper), vai desde 63 volts até cerca de 600 volts. A tolerância pode variar de 5 a 20%. A Figura 2-9 mostra também, a forma mais comum para impressão de valores no corpo do capacitor. Os valores de capacidade, tensão de isolamento e tolerância, vêm impressos em nanofarads ou em um código de cores. A Figura 2-9c, mostra como é feita a leitura das faixas coloridas, impressos no corpo do capacitor. A leitura é feita sempre de cima para baixo, conforme mostra a figura. A primeira e segunda faixas, expressam o primeiro e segundo dígitos significativos da capacidade. A terceira faixa expressa o número de zeros da capacidade. O valor de capacidade dado pelo código de cores está sempre em picofarads. A quarta faixa colorida indica a tolerância (possível desvio no valor da capacidade, em %).

A Tabela 2-2 mostra como são representados os valores de capacidade, tensão de isolamento e tolerância, por meio das faixas coloridas. Não esqueça que o valor de capacidade é sempre dado em picofarads (pf).

Cor	1ª Faixa 1º Digito	2ª Faixa 2º Digito	3ª Faixa 3º Digito	4ª Faixa Tolerância	5ª Faixa Tensão de Isolamento
Preta	-	Zero	Nenhum	20%	-
Marrom	1	1	1		100 a 150 V
Vermelha	2	2	2		200 a 250 V
Laranja	3	3	3		300 a 350 V
Amarela	4	4	4		400 a 450 V
Verde	5	5	5		500 a 550 V
Azul	6	6	6		600 a 650 V
Violeta	7	7	7		-
Cinza	8	8	8		-
Branca	9	9	9	10%	-

Tabela 2-2

Exemplo 1

Suponha que um certo capacitor de poliéster possua as seguintes faixas coloridas:

1ª Faixa: **Marrom**
2ª Faixa: **Preta**
3ª Faixa: **Vermelha**
4ª Faixa: **Preta**
5ª Faixa: **Vermelha**

Observando a Figura 2-9 e a Tabela 2-2, tiramos a seguinte conclusão:

1ª Faixa: 1º Dígito = **1**
2ª Faixa: 2º Dígito = **0**
3ª Faixa: nº de zeros = **00**
4ª Faixa: Tolerância = **20%**
5ª Faixa: Tensão de Isolamento = **200 a 250 volts**

Portanto, nosso capacitor possui uma capacidade de 1.000 picofarads; uma tensão de isolamento que varia de 200 a 250 volts e a capacidade do mesmo pode sofrer um desvio, para cima ou para baixo, de até 20%.

Exemplo 2

Durante o conserto de um televisor, encontramos um capacitor de poliéster com fuga. Observando as faixas coloridas no seu corpo, identificamos:

1ª Faixa: **Vermelha**
2ª Faixa: **Vermelha**
3ª Faixa: **Amarela**
4ª Faixa: **Branca**
5ª Faixa: **Verde**

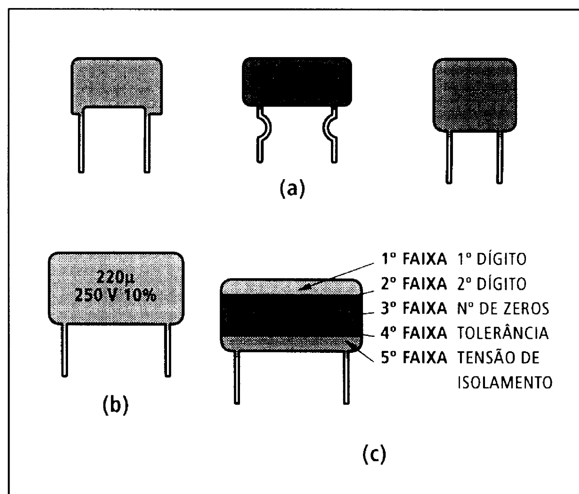


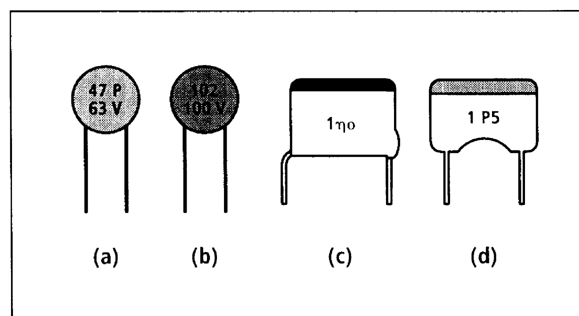
Fig. 2-9: Modelos de capacitor de poliéster.

De acordo com a Tabela 2-2 a primeira faixa vale 2. A segunda faixa também vale 2. A terceira faixa representa 4 zeros, portanto, a capacidade desse capacitor é de 220.000 picofarads ou 220 nanofarads. A quarta faixa, branca, mostra uma tolerância de 10%, e a quinta faixa, verde, indica que a tensão de isolamento equivale a 500 ou até 550 volts.

Os capacitores de cerâmica mais encontrados atualmente têm a forma de disco ou retângulo, conforme mostra a Figura 2-10. Esse tipo de capacitor é bastante empregado nos circuitos de rádio-freqüência. São muito estáveis quanto à tolerância ou flutuação no valor da capacidade por causa de variações de temperatura. Também, são bastante resistentes quanto a fugas no dielétrico.

Os valores de capacidade, comercialmente encontrados, vão desde 0,56 picofarad até 220 nanofarads. A tolerância, num capacitor de cerâmica, pode variar

Fig. 2-10: Formas mais comuns dos capacitores de cerâmica.



desde 1 até 10%. E a tensão de isolamento mais encontrada é de 63 volts ou de 100 volts.

Observe na Figura 2-10 que, a forma de impressão do valor de capacidade no corpo do capacitor, varia de acordo com a conveniência do fabricante. Em (a) e (d) da Figura 2-10, a capacidade está expressa em picofarads. Em (c), a capacidade está expressa em nanofarads. E em (b), a capacidade está expressa em picofarads, só que de uma forma peculiar. Aqui,o número 102 representa 10 e mais dois zeros. Ou seja, a capacidade indicada é de 1.000 picofarads. Se o número marcado no corpo do capacitor fosse 222, a capacidade indicada seria: 22, mais 2 zeros; ou seja, 2.200 picofarads.

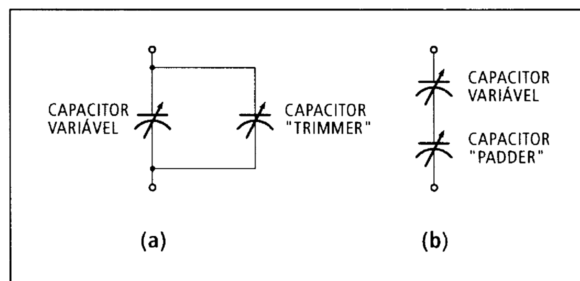


Fig. 2-12: Pequenos capacitores ajustáveis podem ser ligados: **(a)** como capacitores "trimmer" ou **(b)** como capacitores "padder". Capacitores "trimmer" e "padder" têm capacitâncias menores que os capacitores variáveis.

O que são os Capacitores Variáveis?

Os *capacitores variáveis* são, geralmente, feitos com dielétrico de ar. A Figura 2-11 mostra exemplos de capacitores variáveis.

Varia-se a capacitância *alterando a área* das placas ou *alterando a distância* entre as placas. São identificados pela faixa de valores da capacitância pelo meio da qual o capacitor irá variar.

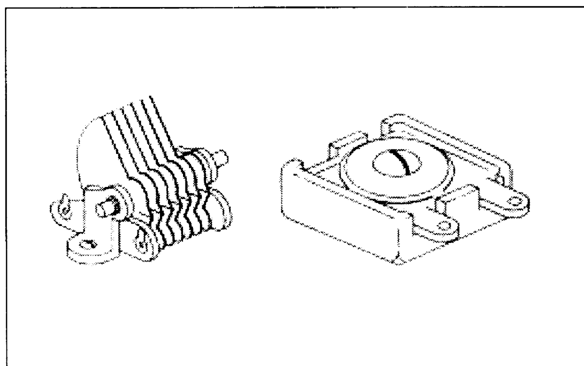


Fig. 2-11: Exemplos de capacitores variáveis.

A faixa de capacitância pode ser ajustada com *capacitores "trimmer"* ou *capacitores "padder"*. A Figura 2-12 mostra a diferença entre um "trimmer" e um "padder".

Na Figura 2-12a, pode-se observar que o "trimmer" é ligado em paralelo com o capacitor variável, enquanto o "padder" da Figura 2-12b está ligado em série. A conexão "trimmer" é mais popular. Os capacitores usados como "trimmers" são feitos com dielétricos de ar, poliestireno, teflon, cerâmica ou mica.

RESUMO

1. Os capacitores são componentes que armazenam energia na forma de um campo eletrostático.
2. Os capacitores são componentes que se opõem a qualquer mudança de tensão sobre seus terminais.
3. Os capacitores são usados para armazenar energia, opondo-se à mudança na tensão, deixando passar altas freqüências e rejeitando baixas freqüências ou dividindo uma tensão.
4. Os capacitores são classificados de acordo com sua capacitância, tensão máxima e, em alguns casos, seu coeficiente de temperatura e tolerância percentual.
5. Os capacitores são identificados pelo tipo de material usado como dielétrico. Exemplos disto são os capacitores de papel, capacitores de mica e capacitores de cerâmica.
6. Os "trimmers" são pequenos capacitores variáveis colocados em paralelo com um capacitor variável maior.
7. Os "padders" são pequenos capacitores variáveis, colocados em série com um capacitor variável maior.
8. Os "trimmers" e "padders" são usados para ajustar a faixa de capacitância dos capacitores variáveis maiores.

Para que são usados os Indutores?

Os *indutores*, ou *bobinas*, podem ser definidos como componentes que armazenam energia na forma de um *campo eletromagnético*. Podem também ser definidos como componentes que *se opõem a qualquer mudança na corrente* que passa através dos mesmos. Estas definições esclarecem a finalidade para a qual os indutores são usados em circuitos – isto é, para armazenar energia ou opor-se a uma mudança na corrente. Podem também ser usados para deixar passar freqüências baixas, rejeitando, ao mesmo tempo, altas freqüências.

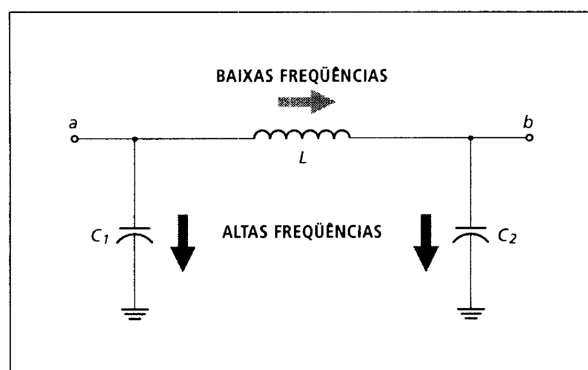


Fig. 2-13: Um exemplo de como um indutor pode ser usado como filtro de passagem para baixas freqüências.

A Figura 2-13 mostra como um indutor é usado num circuito para deixar passar freqüências baixas, rejeitando altas freqüências. Nesta aplicação, o indutor é, freqüentemente, chamado "choque". O circuito completo na Figura 2-13 é chamado *filtro passa-baixa*. As baixas freqüências podem passar através da bobina, porém as altas freqüências são levadas à terra através dos capacitores. No entanto, as baixas freqüências encontram forte oposição no caminho. O resultado global é que somente as baixas freqüências podem passar no circuito de *a* até *b*.

O que é o Henry?

A indutância de uma bobina é medida em *henries* (H). Isto é uma unidade que representa a quantidade de energia que um indutor pode armazenar. Quanto maior for o valor da indutância em henries, maior será a quantidade de energia que um indutor pode armazenar.

O henry é uma unidade muito grande para uso prático em bobinas para os circuitos eletrônicos, de modo que as unidades [milihenry (mH) e microhenry (μH)] são mais comumente usadas. Um *milihenry* equivale a um milésimo de henry. Um *microhenry* equivale a um milionésimo de um henry.

O que é uma Reatância Indutiva?

Os indutores, como os capacitores, opõem-se ao fluxo da corrente alternada. Você deve lembrar-se de que, quanto maior a freqüência, menor é a oposição que o capacitor oferece ao fluxo da corrente alternada. A *indutância reativa* que representa a oposição que uma bobina oferece ao fluxo de uma corrente alternada *aumenta* quando a *freqüência aumenta*. A reatância indutiva também *aumenta* quando o valor da *indutância aumenta*. Matematicamente.

$$X_L = 2 \quad fC$$

em que, X_L = reatância em ohms
= 3,14
f = freqüência em hertz
C = indutância em henries

Essa equação mostra que a oposição ou reatância de um indutor aumenta quando aumenta-se a indutância ou a freqüência. Os indutores são componentes reativos.

Alguns tipos de Indutores

As *bobinas de filtro* são usadas em fontes de alimentação para suavizar variações em corrente de alimentação. Esta aplicação está ilustrada na Figura 2-14.

As bobinas de filtro são geralmente projetadas para suportar correntes de intensidades relativamente altas. São enroladas sobre núcleos *laminados de ferro*. As laminações de ferro são camadas ou chapas de ferro empilhadas umas sobre as outras. O valor de indutância das bobinas de filtro é geralmente de cerca de 1 a 30 henries.

Os *choques de rádio-freqüência* possuem um núcleo de ar. Como seu nome explica, são usados para opor-se a mudanças nas correntes de rádio-freqüência. Quando são moldados em formas cilíndricas, podem ser identificados com código de cores, conforme indicado na Figura 2-15.

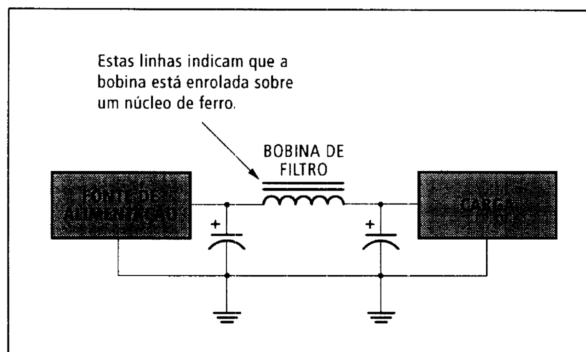


Fig. 2-14: Uso de uma bobina de filtro num circuito de alimentação. Os sinais de mais (+) nos símbolos dos capacitores significam que os mesmos são eletrolíticos.

Indutores variáveis são projetados de tal forma que o material do núcleo pode ser deslocado para dentro ou para fora do centro. A indutância aumenta, conforme o núcleo vai se deslocando dentro da bobina. O material do núcleo pode ser de ferro em pó sinterizado ou de ferrite. Esses materiais são usados por causa de suas baixas perdas em altas freqüências. O ferro em pó é moldado em forma de cilíndros pequenos sob alta pressão, de modo que parecem ser feitos de material sólido. Estes indutores são somente usados para as rádio-freqüências.

Pérolas de ferrite são bolinhas de material magnético que agem como "choques" de rádio-freqüência. Um fio percorrido por uma corrente elétrica passa através da bolinha. Isto tem o mesmo efeito de ligar uma bobina de "choque" em série com o fio. As bolinhas de ferrite têm excelentes propriedades de indutância, com perdas muito baixas.

Código de Cores

Cor	Número Significativo	Multiplicador*	Tolerância
Preta	0	1	
Marrom	1	10	
Vermelha	2	100	
Laranja	3	1.000	
Amarela	4		
Verde	5		
Azul	6		
Violeta	7		
Cinza	8		
Branca	9		
Nenhuma †	Ponto		± 20%
Prata	decimal		± 10%
Ouro			± 05%

* O multiplicador é o fator pelo qual são multiplicados os dois números significativos para obter o valor nominal da indutância
† Indica a cor do corpo



Fig. 2-15: Código de cores para bobinas cilíndricas de rádio-freqüência.

RESUMO

1. Indutores, também chamados bobinas, são componentes que armazenam energia na forma de um campo eletromagnético.
2. Indutores são componentes que se opõem a qualquer alteração da corrente que passa através dos mesmos.
3. Indutores são usados para armazenar energia e para opor-se à mudança da corrente. São também usados para deixar passar baixas freqüências e rejeitar altas freqüências.
4. Bobinas de filtro são usadas para suavizar flutuações nas correntes da fonte de alimentação.
5. Bobinas enroladas sobre núcleos laminados de ferro são usadas para baixas freqüências enquanto que bobinas com núcleo de ar são usadas para rádio-freqüências.
6. Bobinas enroladas sobre núcleos de ferro em pó sinterizado ou de ferrite são também usadas nas rádio-freqüências.
7. Bolinhas de ferrite são bolinhas de material magnético que agem como "choques" de rádio-freqüência.

Para que são usados os Diodos?

Diodos são componentes que conduzem a corrente de elétrons num sentido determinado (do cátodo para o ânodo), porém não no sentido oposto (ânodo para cátodo). Já passou o tempo em que o uso mais extenso dos diodos era em fontes de alimentação, nas quais eram usados como retificadores. Um *retificador* é um diodo usado para converter a corrente alternada da linha para uma corrente contínua. Hoje, a retificação é apenas uma das muitas funções realizadas pelos diodos.

Alguns exemplos de Diodos Retificadores

A Figura 2-16 mostra os tipos de diodos usados em circuitos retificadores. O diodo indicado na Figura 2-16a usa um filamento como cátodo. O filamento é aquecido até o ponto em que elétrons são liberados de sua superfície. Quando a tensão da placa é positiva, a placa irá atrair esses elétrons negativos. Assim, o fluxo da corrente de elétrons é do *cátodo para a placa.* Os elétrons liberados vêm diretamente da superfície do filamento e as válvulas diodo são chamadas válvulas com *cátodo de aquecimento direto.*

A Figura 2-16b mostra um diodo com cátodo de aquecimento indireto. Um filamento que não está indicado no símbolo (ver o suplemento) aquece o cátodo. Elétrons são emitidos da superfície aquecida do cátodo. O cátodo tem a forma de um cilíndro com o filamento por dentro.

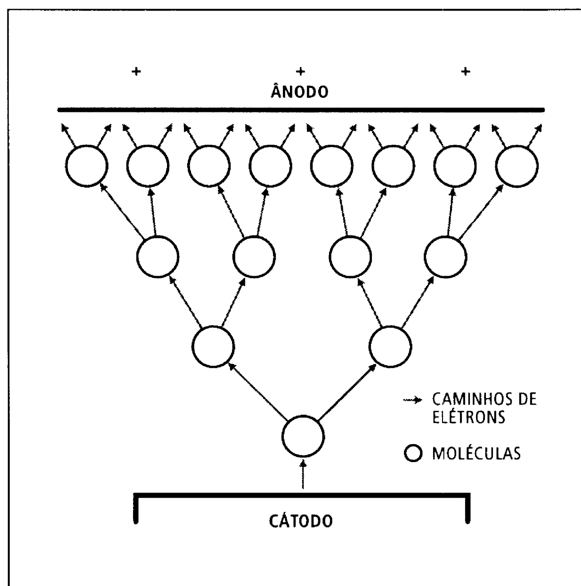


Fig. 2-17: Efeito de avalanche numa válvula com enchimento de gás.

Isso está indicado na Figura 2-16. Quando a placa é tornada positiva, ela atrai os elétrons emitidos pelo cátodo.

O *diodo semicondutor* também conduz uma corrente de elétrons de seu cátodo para seu ânodo. Como no caso das válvulas diodo, não irá conduzir do ânodo para o cátodo. O símbolo para este componente está indicado na Figura 2-16c. Os diodos semicondutores são também chamados de *diodos de estado sólido.* Possuem a vantagem de não precisar de um cátodo quente para sua operação. O resultado é um componente mais simples que opera a uma temperatura mais baixa e não requer energia para o filamento. A composição física e química do diodo semicondutor lhe permite retificar a corrente.

A Figura 2-16d é o símbolo para um diodo a gás. Ele possui um cátodo

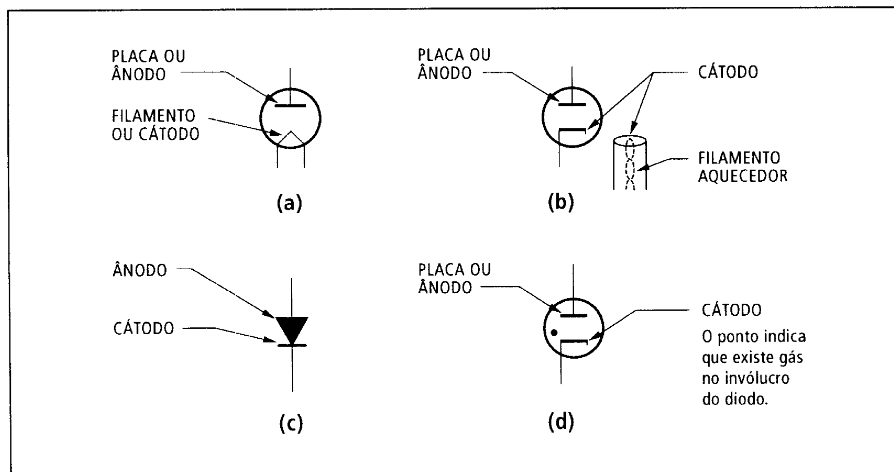


Fig. 2-16: Diodos usados para retificação: (**a**) válvula diodo com filamento (cátodo); (**b**) válvula diodo com cátodo de aquecimento indireto; (c) diodo semicondutor; (**d**) diodo com instrumento a gás.

de aquecimento indireto e uma placa exatamente como a da Figura 2-16b. A diferença é que o interior do tubo está cheio de gás. Este produz o assim chamado "efeito de avalanche" quando o tubo está conduzindo uma corrente de elétrons.

A Figura 2-17 ilustra a condição de *avalanche.* Um elétron deixa o cátodo e é atraído em direção à placa positiva. Antes de ter se deslocado para muito longe, ele colide com uma molécula de gás e solta um elétron da molécula. Os dois elétrons colidem, em seguida, com mais duas moléculas de gás e soltam mais dois elétrons. O processo continua, de modo que o número de elétrons que atinge a placa é bastante grande. Uma *característica importante de um diodo a gás é sua capacidade de conduzir correntes de intensidades relativamente altas.* Quando esse diodo conduz uma corrente, ele brilha.

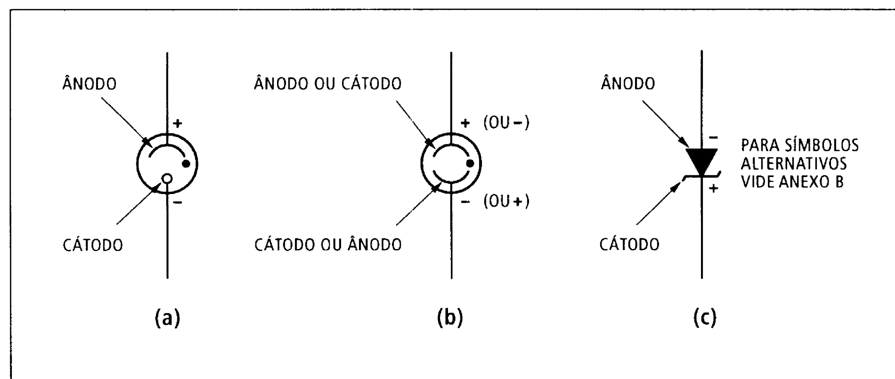


Fig. 2-18: Diodos reguladores de tensão: (a) regulador a gás; (b) lâmpada neon; (c) diodo Zener. Para outros símbolos veja anexo B.

O que são os Diodos Reguladores?

Um *diodo regulador* sempre possui a mesma tensão sobre si dentro de sua faixa operacional de corrente. Ambos os tipos, válvula e semicondutor, são indicados na Figura 2-18.

O *diodo regulador a gás* da Figura 2-18a não possui um cátodo aquecido. Os elétrons são retirados do cátodo por *emissão de campo.* Isto significa simplesmente que os elétrons são arrancados da superfície do cátodo pela tensão positiva aplicada ao ânodo.

Uma baixa tensão sobre o diodo regulador a gás não irá causar qualquer fluxo de corrente através do mesmo. Conforme aumenta a tensão, atinge-se certo valor que faz o diodo *disparar.* Isto significa que o diodo começa a brilhar. Uma vez atingida a tensão de disparo, a tensão sobre o diodo permanece constante dentro da faixa operacional nominal da corrente. É aconselhável nunca permitir que a corrente exceda o valor fornecido nas folhas de dados para a válvula.

A *lâmpada neon* da Figura 2-18b é semelhante ao regulador a gás. Possui dois eletrodos de tamanho idêntico, de modo que os elétrons podem facilmente passar em qualquer direção, através da lâmpada. As lâmpadas neon são menores que os reguladores a gás. São usadas como fontes luminosas e como reguladores de tensão devido às suas propriedades.

Uma característica inusitada do *diodo zener* de estado sólido, da Figura 2-18c, é que deve ser operado com *polarização reversa* – isto é, o ânodo deve ser negativo, com relação ao cátodo. Normalmente, um diodo não iria conduzir com essa polaridade de tensão sobre si, mas o diodo zener conduz.

Os diodos reguladores são usados em circuitos em que a tensão precisa ser mantida em *um valor constante* com as mudanças normais nas condições do circuito.

Não existem reguladores a gás para regular tensões abaixo de 50 volts, enquanto os diodos zener podem ser obtidos para tensões nominais de apenas alguns volts.

O que é um LED?

Um *componente optoeletrônico* tem uma das seguintes características:

1ª) *Produzir luz* quando for aplicada a tensão correta. Um exemplo deste tipo é o LED.

2ª) Suas características variam de alguma forma quando é *exposto à luz.* Existem dois tipos: fotocondutivo e fotovoltáico.

O LED é um exemplo de um componente optoeletrônico de dois terminais. As iniciais LED significam Light Emitting Diode (diodo emissor de luz).

Quando a corrente flui através de um material semicondutor, produz-se energia. Esta energia não pode ser simplesmente ignorada; uma lei básica da física diz que a energia não pode ser criada nem destruída. Quando uma corrente flui neste caso, a energia é convertida em luz.

A Figura 2-19 mostra o símbolo de um LED. As setas que se *afastam* de um componente de estado sólido indicam que o componente *emite luz*.

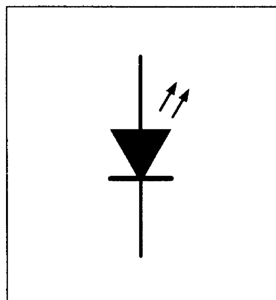


Fig. 2-19: Símbolo do diodo LED.

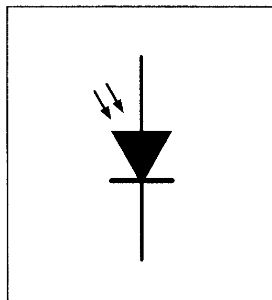


Fig. 2-20: Símbolo para um diodo fotocondutor.

O LED tem vida mais longa que a lâmpada com filamento. Também opera em temperaturas mais baixas. Porém, pode ser destruído com maior facilidade por uma *sobrecarga* (ou seja, um fluxo excessivo de corrente).

Os *diodos fotocondutores* operam em forma inversa que os LEDs. Se você projetar luz sobre um diodo fotocondutor, isto irá causar uma mudança na intensidade de corrente fluindo no diodo.

A Figura 2-20 mostra o símbolo de um diodo fotocondutor. Observe que as setas apontam em direção ao componente. Todos os diodos semicondutores são um pouco sensíveis à luz, porém são embalados em caixas à prova de luz, para evitar que a luz afete sua operação.

Os *componentes fotovoltáicos* geram uma tensão que depende da intensidade da mesma que incide sobre eles. Uma *célula solar* é um exemplo de componente fotovoltaico.

A letra grega lambda (λ) é freqüentemente usada com componentes optoeletrônicos. O símbolo é usado para indicar que o componente requer luz para sua operação ou que o componente emite luz.

RESUMO

1. Os diodos retificadores irão conduzir a corrente de elétrons do cátodo para o ânodo, mas não do ânodo para o cátodo.

2. Quando o ânodo de um diodo for positivo, em relação a seu cátodo, diz-se do diodo que tem *polarização direta*. Sob esta condição, o diodo conduz a corrente de elétrons.

3. Quando o cátodo de um diodo for positivo, em relação ao ânodo, diz-se do diodo que tem *polarização reversa. Normalmente, a corrente não flui através de um diodo retificador com polarização reversa.*

4. Os diodos retificadores são usados para converter corrente alternada em corrente contínua.

5. A tensão sobre um diodo regulador é sempre a mesma independentemente da intensidade da corrente que passa através do mesmo. Este diodo é utilizado por proporcionar uma tensão constante (regulada).

6. Um componente optoeletrônico pode ter uma das seguintes características: (a) emitir luz quando energizado (LED); (b) alterar a intensidade de sua corrente quando exposto à luz (componente fotocondutor) ou (c) gerar tensão (componente fotovoltáico) quando exposto à luz.

PERGUNTAS DE REVISÃO PROGRAMADA

(As instruções para usar esta seção de Revisão Programada são fornecidas no Capítulo 1 / pág. 8.)

Aqui iremos rever os conceitos mais importantes deste capítulo. Se você tiver entendido esse material, poderá progredir facilmente por meio desta seção. Não pule este material, porque nele apresentamos algumas informações teóricas adicionais.

1 **Um componente bilateral de um circuito irá conduzir a corrente de elétrons em ambas as direções. Qual dos componentes abaixo é um exemplo de componente bilateral de dois terminais?**

A **Um diodo a gás**
(passe para o item 9).
B **Um resistor com composição de carbono**
(passe para o item 17).

2 *A resposta correta para a pergunta no item 16 é A. Os diodos zener são operados com tensão reversa. Em outras palavras, a corrente de elétrons flui através do diodo zener do ânodo para o cátodo. Mesmo que a intensidade da corrente varie, a tensão sobre o diodo zener permanece constante. Por esta razão, diz-se que é um diodo regulador de tensão.* Aqui está a próxima pergunta:

Qual das propostas abaixo é uma aplicação de resistores?

A **Deixar passar baixas freqüências e rejeitar altas freqüências**
(passe para o item 13).
B **Produzir uma queda de tensão**
(passe para o item 10).

3 *A resposta correta para a pergunta no item 17 é A. Vide a Figura 2-6 para exemplos de gradientes de um resistor variável. A taxa de atenuação não é um termo usado com resistores variáveis (na realidade é a taxa máxima de mudança de tensão que pode ocorrer nos terminais da fonte de alimentação).* A seguir, a próxima pergunta:

O componente que se opõe a qualquer mudança da tensão entre seus terminais é

A **O diodo retificador**
(passe para o item 5).
B **O capacitor**
(passe para o item 15).

4 *Se sua resposta para a pergunta no item 15 é A, está errada. Os símbolos para todos os diodos são indicados no anexo B.* Passe para o item 12.

5 *Se sua resposta para a pergunta no item 3 é A, está errada. Um retificador é um diodo que conduz a corrente, apenas num sentido de direção.* Passe para o item 15.

6 *Se sua resposta para a pergunta no item 11 é A, está errada. Reveja os símbolos dos diodos no anexo B e*, em seguida, passe para o item 16.

7 *Se sua resposta para a pergunta no item 16 é B, está errada. Uma bobina de choque oferece forte oposição a qualquer mudança na corrente, porém não é usada como regulador de tensão.* Passe para o item 2.

8 *Se sua resposta para a pergunta no item 10 é A, está errada. Um reostato é um resistor variável ligado num circuito para controlar sua corrente.* Passe para o item 18.

9 *Se sua resposta para a pergunta no item 1 é A, está errada. Uma vez que uma corrente de elétrons irá fluir somente através deste diodo, num sentido de direção (cátodo para placa), é um exemplo de componente unilateral.* Passe para o item 17.

10 *A resposta correta para a pergunta no item 2 é B. A Figura 2-2b mostra o exemplo de um circuito em que um resistor é usado para produzir uma queda de tensão.* Aqui está a próxima pergunta:

Qual dos seguintes componentes pode ser usado como sensor de calor?

A **O reostato**
(passe para o item 8).
B **O termistor**
(passe para o item 18).

11 *A resposta correta para a pergunta no item 12 é A. As letras NPO significam Negativo-Positivo-Zero. Um capacitor com esta designação não sofre mudança no valor da capacitância por pequenas mudanças de temperatura.* Aqui está a próxima pergunta:

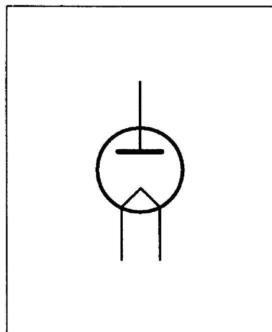


Fig. 2-21: Qual é o componente representado por este símbolo?

A Figura 2-21 mostra o símbolo para

[A] **Uma lâmpada neon**
(passe para o item 6).
[B] **Uma válvula diodo**
(passe para o item 16).

12 *A resposta correta para a pergunta no item 15 é B. Conforme indicado no Anexo B, existe mais de um tipo de símbolo usado para os diodos zener.* A seguir, está a próxima pergunta:

Uma indicação NPO do coeficiente de temperatura para um capacitor de cerâmica significa

[A] **Que o mesmo não sofre qualquer alteração da capacitância com uma pequena mudança na temperatura**
(passe para o item 11).
[B] **Que o mesmo sofre uma mudança importante de capacitância, com uma pequena mudança na temperatura**
(passe para o item 14).

13 *Se sua resposta para a pergunta no item 2 é A, está errada. Um indutor (e não um resistor) é usado para deixar passar as baixas freqüências e rejeitar as altas freqüências.*
Passe para o item 10.

14 *Se sua resposta para a pergunta no item 12 é B, está errada.* Passe para o item 11.

15 *A resposta para a pergunta no item 3 é B. Esta é uma das características importantes dos capacitores.*
Aqui está a próxima pergunta:

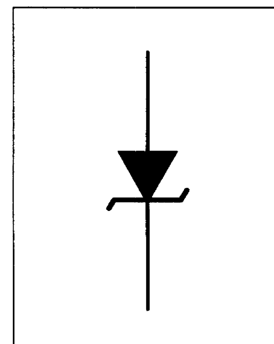


Fig. 2-22: Qual é o componente representado por este símbolo?

A Figura 2-22 mostra o símbolo para

[A] **Um diodo a gás**
(passe para o item 4).
[B] **Um diodo zener**
(passe para o item 12).

16 *A resposta correta para a pergunta no item 11 é B. A ilustração mostra o símbolo para um diodo com cátodo de aquecimento direto.* Aqui está sua próxima pergunta:

Qual dos seguintes componentes é usado para produzir uma queda constante da tensão, apesar da mudança de intensidade da corrente passando através do mesmo?

[A] **O diodo zener**
(passe para o item 2).
[B] **Uma bobina "choque" de rádio-freqüência**
(passe para o item 7).

17 *A resposta correta da pergunta no item 1 é B. O diodo a gás conduz a corrente de elétrons do cátodo para a placa, porém não da placa para o cátodo. Um resistor é um componente bilateral. Conduz corrente em ambos os sentidos de direção.* Aqui está a próxima pergunta:

A maneira com a qual a resistência de um resistor variável muda com a rotação do eixo é chamada

[A] **Gradiente**
(passe para o item 3).
[B] **Taxa de atenuação**
(passe para o item 19).

18 *A resposta correta para a pergunta no item 10 é B. Um sensor, também chamado transdutor, é usado para "sentir" a temperatura na estufa para cristal da Figura 2-2c. Pequenas mudanças na temperatura causam grandes mudanças da resistência num termistor.* Aqui está a próxima pergunta:

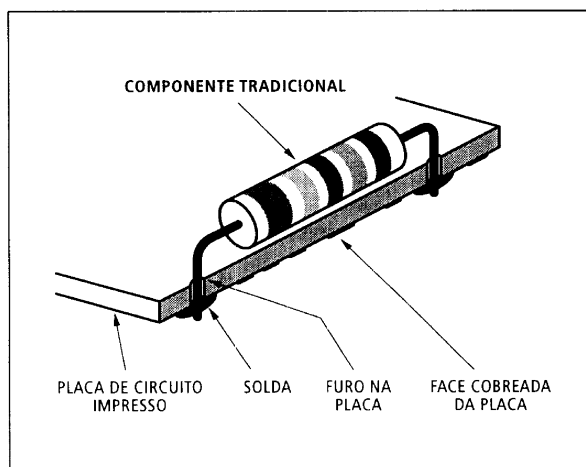
O componente de dois terminais que se opõe a qualquer mudança na corrente passando através do mesmo é o

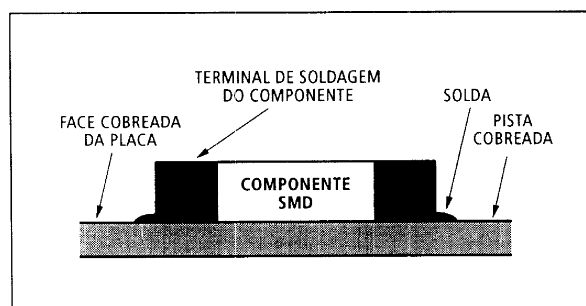
....

(passe para o item 20)

19 *Sua resposta para a pergunta no item 17 é B. Esta resposta está errada. O termo taxa de atenuação não é aplicável para resistores variáveis.* Passe para o item 3.

20 *Indutor (um capacitor que se opõe a mudanças na tensão).*





Componentes SMD

SMD's são componentes eletrônicos usados na maioria dos aparelhos fabricados atualmente. Exemplos são: vídeo-cassetes, gravadores e auto-rádios. A sigla *SMD*, significa "Surface Montage Device", ou seja, *Dispositivo de Montagem de Superfície*. A diferença desses componentes, em relação aos componentes eletrônicos tradicionais está principalmente no tamanho e forma como são montados nas placas de circuito impresso. Os componentes tradicionais têm seus terminais inseridos nos furos da placa de circuito impresso e são soldados na mesma. O componente fica na face superior da placa e a solda é feita numa pista cobreada da face inferior da mesma. Veja a Figura 2-23.

O componente SMD é muitas vezes, colado na placa e depois soldado. Esse tipo de componente não possui terminais compridos, como geralmente acontece com o componente tradicional. A solda é feita nas extremidades do componente SMD e a parte cobreada da placa fica na mesma face onde está o componente. Veja a Figura 2-24.

Histórico

Embora o desenvolvimento e aplicação do SMD tenha maior ênfase sobre os aparelhos eletrônicos, fabricados no Japão e Europa, já a cerca de 30 anos atrás (por volta de 1965) os Estados Unidos da América começava a desenvolver esse tipo de componente. Muitos dos chamados micro-circuitos abriram caminho para os componentes SMD. Esses micro-circuitos usaram as duas formas de componente: SMD e Tradicional. Da mesma forma, os primeiros Circuitos Integrados (CI's) chamados *"Híbridos"*, eram feitos com uma pequena pastilha de material isolante, conhecido como substrato e os componentes SMD eram montados sobre a mesma.

Fig. 2-23: Componente tradicional soldado na placa de circuito impresso.

Fig. 2-24: Como é soldado o componente SMD, na placa de circuito impresso.

Por volta de 1967, os Laboratórios Phillips da Holanda, lançavam no mercado um transistor SMD de modelo SOT-23, em substituição ao tradicional TO-92. O tipo SOT-23 tinha tamanho 10 vezes menor que o modelo tradicional. Em 1971, a Phillips já produzia componentes SMD para a indústria Suiça de relógios. Hoje, o Japão fabrica os menores componentes SMD que são usados nos modernos aparelhos eletrônicos.

Componentes passivos

Componentes eletrônicos que amplificam, retificam e operam como chave, são chamados *componentes ativos*. Componentes eletrônicos que não executam essas funções são chamados *componentes passivos*. Exemplos de componentes passivos: resistor, capacitor e indutor.

No caso dos componentes tradicionais, a construção e operação se dá conforme vimos nesse capítulo. Quando se trata de componentes SMD, a operação é da mesma forma. A diferença entre os dois tipos de componentes está principalmente no tamanho.

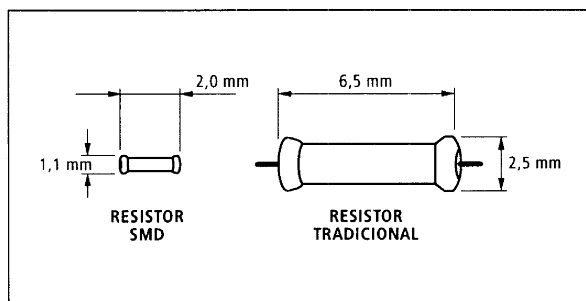
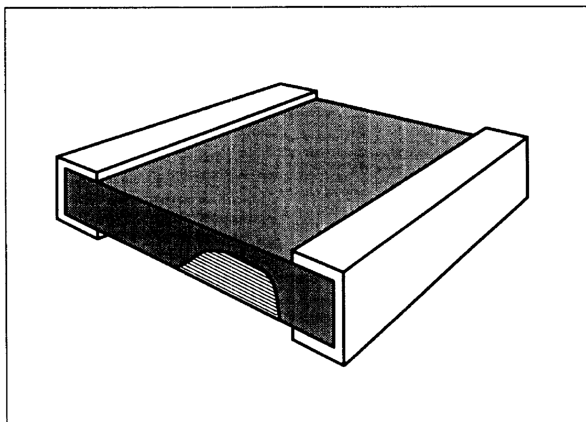


Fig. 2-25: Dimensões principais de dois resistores: SMD e Tradicional.

A Figura 2-25 mostra como exemplos as dimensões de dois resistores, um do tipo tradicional e outro do tipo SMD. Os dois componentes são resistores do tipo metal film, com potência de 1/8 de watt. Os resistores SMD podem ser construídos em metal film ou na forma de chip. Nesta última, o resistor é feito de um diminuto substrato – geralmente alumina – coberto pelo material resistivo e por uma camada protetora de vídeo.

Fig. 2-26: Vista interior de um resistor do tipo chip.



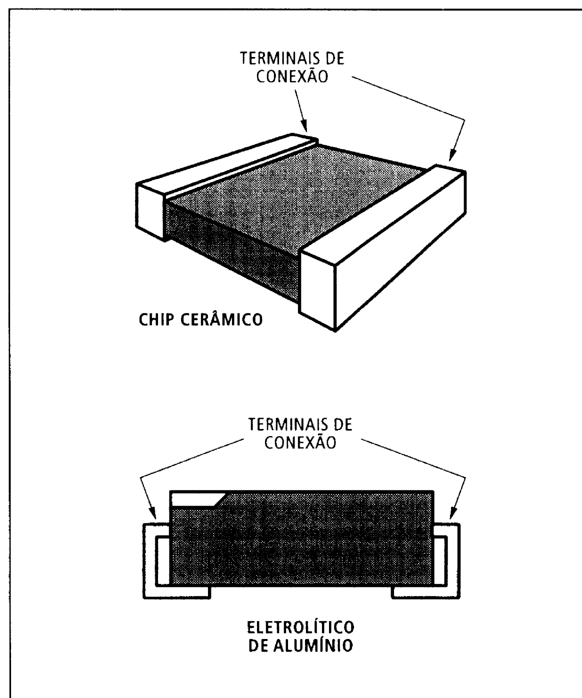


Fig. 2-27: Dois capacitores SMD: Chip Cerâmico e Eletrolítico.

A Figura 2-26 mostra a vista interna de um resistor do tipo chip.

Os capacitores do tipo SMD usam geralmente o mesmo tipo de material usado nos componentes tradicionais. Os capacitores também podem ser fabricados na forma de chip. A Figura 2-27 mostra a forma básica de dois capacitores SMD, um em chip cerâmico, e outro, eletrolítico.

Observe que os componentes SMD não possuem terminais de ligação, como acontece com os componentes tradicionais. A conexão de um componente SMD é feita pela soldagem dos extremos do seu corpo diretamente à placa de circuito impresso. A Figura 2-28 mostra um típico indutor SMD em chip. Observe os terminais de ligação do componente.

Nomenclatura

O valor da resistência ou capacidade de um componente SMD é, na maioria das vezes, registrado no corpo do componente. A potência de dissipação dos resistores é geralmente determinada por um código numérico não exibido no corpo do componente. Neste caso, o código é fornecido por um manual de referência do fabricante.

Resistores com potência de 1/16 e 1/10 de watt, são codificados pelo número 0805. Resistores de 1/8 de watt, tem número 1206. E resistores de 1/4 de watt são codificados pelo número 1210.

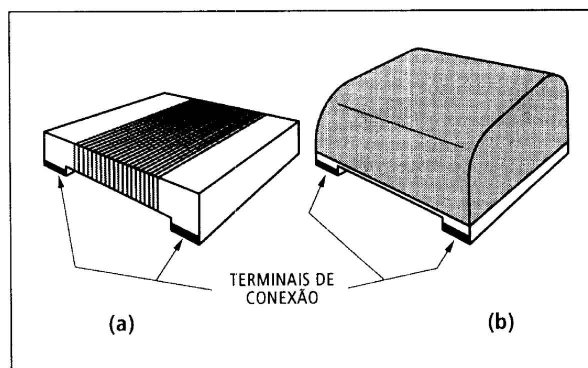
O valor de resistência de um resistor chip SMD é geralmente impresso no corpo do componente. Resistores do tipo 1206 e 1210 têm valor codificado por três dígitos ou por dois dígitos e a letra R. Quando são três dígitos, os dois primeiros indicam a resistência, e o terceiro indica o número de zeros à acrescentar. Por exemplo, um resistor com número 562, tem uma resistência equivalente à 56, mais 2 zeros, ou seja, 5.600 ohms.

Um resistor com número 154, tem resistência de 15, mais 4 zeros, ou seja, 150.000 ohms ou, 150 k . A letra R é usada para indicar o ponto decimal quando a resistência é baixa. Por exemplo: 5R6, indica resistência de 5,6 ohms. 4R7, indica resistência de 4,7 ohms.

Quando o resistor é do tipo 0805, seu tamanho é tão pequeno que não permite marcar valores com 3 dígitos, então, a forma encontrada por um dos grandes fabricantes de componentes SMD foi usar um código de dois caracteres. O primeiro caractere é uma letra do alfabeto, que indica os dois primeiros dígitos da resistência. O segunto caractere é um dígito que indica um mutiplicador. Por exemplo, um resistor chip, marcado com W4, tem uma resistência de 68.000 ohms. A letra e o dígito que representam o valor, são encontrados no manual de referência do fabricante do componente.

Quando se trata de capacitores, a codificação e registro de valores no corpo do componente seguem praticamente a mesma regra. Por exemplo, a MEPCO/ CENTRALHB, Inc., usa certas letras do alfabeto para indicar valor de tensão, enquanto que o valor de capacidade é indicado por dois dígitos. Por exemplo, 4F7 indica um capacitor de 4,7 microfarads, 25 volts.

Fig. 2-28: Indutor SMD em chip: (a) com enrolamento aparente; (b) com a cobertura protetora.



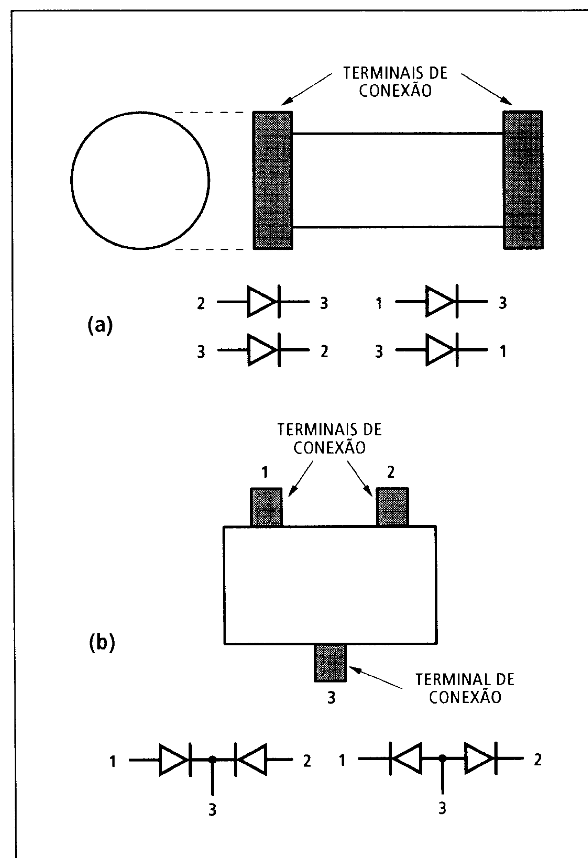
Um capacitor de 22 microfarads e 63 volts, é codificado por 22H. Onde, 22 indica capacidade e a letra H indica 63 volts de isolamento.

Componentes Ativos SMD

Componente ativo é aquele capaz de executar qualquer função de chaveamento, retificação ou amplificação. A grande maioria dos componentes eletrônicos, feitos de material semicondutor são ativos. Nesta categoria, estão incluídos os diodos, os transistores e os circuitos integrados (CI's).

A Figura 2-29 mostra dois tipos de encapsulamento de diodos SMD. Na Figura 2-29a vemos um tipo de encapsulamento cilíndrico. Neste caso, o fabricante de diodo fornece, ou não, alguma identificação de ânodo-cátodo do componente. Quando não há identificação, é necessário medir as resistências direta e inversa para identificar ânodo-cátodo.

Fig. 2-29: Dois tipos de encapsulamento de diodos SMD.



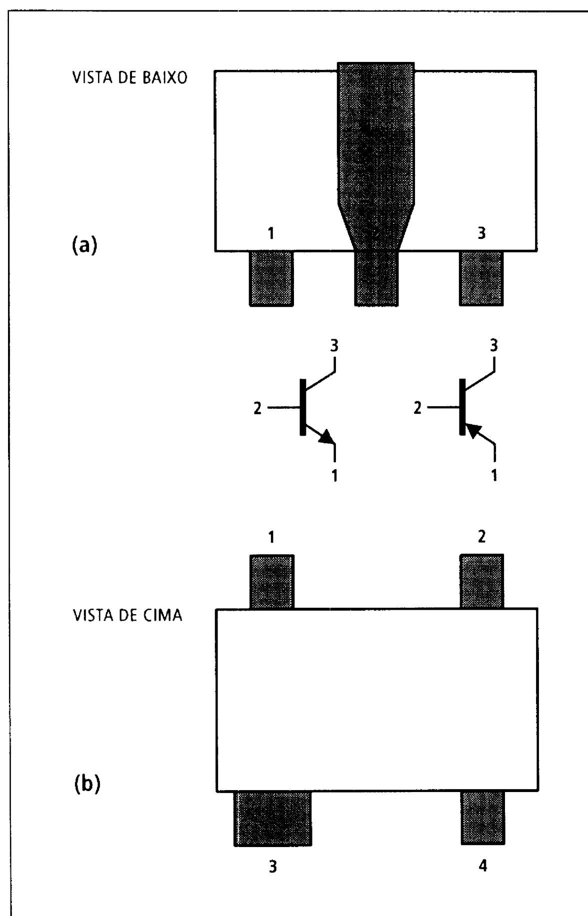


Fig. 2-30: Encapsulamento de transistor e ponte retificadora SMD.

Na Figura 2-29b vemos o encapsulamento da forma retangular que emprega 3 terminais de conexão. Neste caso, o interior da cápsula pode conter um ou dois diodos, como é mostrado na figura.

Quando não temos dados do fabricante, é necessário medir a resistência direta-inversa entre os terminais de conexão, para identificar os eletrodos dos componentes internos.

A Figura 2-30 mostra a forma comum de encapsulamento de transistores e pontes retificadoras do tipo SMD. Observe que na Figura 2-30a, o componente é visto por baixo. Na Figura 2-30b, o componente é visto por cima. Essa visão é muitas vezes importante, quando temos que identificar terminais.

A Figura 2-31 mostra três formas de circuito integrado SMD. Na Figura 2-31a, vemos um CI de 24 terminais. Na Figura 2-31b, vemos um CI de 18 terminais e na Figura 2-31c, vemos um CI de 8 terminais. Observe que a contagem dos terminais de conexão segue a mesma sequência daquela feita para componentes tradicionais.

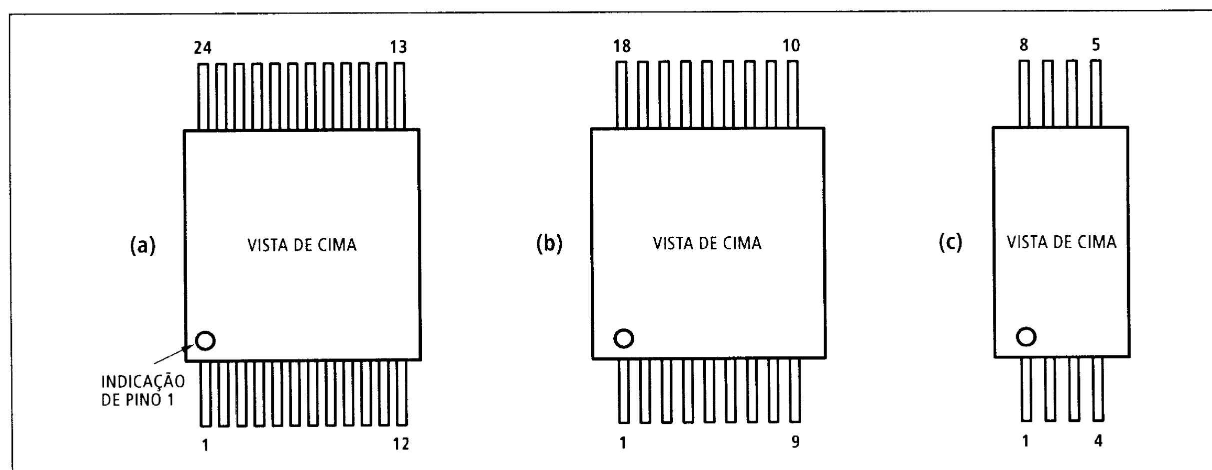
Eletrostática x Semicondutor

A cada dia que passa, uma nova forma de componente, tecnologia, fabricação ou implementação, surge nos laboratórios ou mercado.

Analisando esse processo, percebemos que o vertiginoso desenvolvimento está concentrado nos componentes feitos de material semicondutor.

À bem pouco tempo, era difícil imaginar um transistor FET operando como saída de potência de áudio.

Fig. 2-31: Circuitos Integrados SMD.



A tecnologia MOSFET, vem se acentuando a cada dia e tomando vulto nas áreas digitais. Microprocessadores, Memórias e Circuitos Integrados Digitais, cada vez mais, usam MOSFET na sua construção.

Embora todo avanço tecnológico tenha trazido componentes mais compactos, baratos e confiáveis, a "*Eletrostática*" que nos rodeia torna os componentes eletrônicos cada vez mais vulneráveis.

Teoricamente, um componente feito de material semicondutor tem vida muito longa. Na prática, essa vida acaba sendo reduzida ou interrompida pelo ataque dos Canais Eletrostáticos ambientais. Quando se trata de um componente SMD, o perigo cresce e passa a atingir um número maior de componentes. Como sabemos, muitos resistores e capacitores são construídos na forma de chip.

Os campos eletrostáticos que atacam os componentes eletrônicos têm origem no contato entre materiais não-condutores. Entre estes estão os materiais plásticos em geral e os diversos tipos de papel e papelão.

Como geralmente os componentes eletrônicos são embalados ou depositados em saquinhos ou recipientes plásticos, é fácil imaginar o perigo a que estão sujeitos.

Quando dois materiais não-condutores estão, ou entram em contato e são afastados, produz-se uma descarga estástica. Essa descarga atinge, muitas vezes, a ordem de centenas ou até milhares de volts. Um saco plástico fechado, que é aberto, torna-se uma fonte ativa de descarga estática. Até nosso próprio corpo, devido à pele não-condutora, cria campo eletrostático quando em contato com as roupas.

Portanto torna-se necessário ter certos cuidados para manejar componentes como CI's, Transistores FET, MOSFET, Microprocessadores, Memórias e componentes SMD. Esses componentes devem ser embalados em sacos plásticos especiais, depositados em recipientes ou caixas, também de material anti-estático e manejados com os devidos cuidados.

Muitos componentes, como Memórias e Microprocessadores, contêm dispositivos internos de proteção. Mas nem sempre esses dispositivos são eficazes. Até o próprio dispositivo de proteção é atacado pela eletrostática.

Os campos eletrostáticos tornam-se mais perigosos em condições climáticas onde a umidade relativa do ar torna-se baixa.

A confiabilidade e a própria vida dos componentes eletrônicos semicondutores ou em SMD dependem em muito dos cuidados e da proteção dispensados aos mesmos.

EXPERIÊNCIAS

(A experiência descrita nesta seção pode ser realizada na placa de circuitos descrita no Anexo C ou numa montagem semelhante de laboratório.)

PRIMEIRA PARTE

■ OBJETIVO

O objetivo desta experiência é demonstrar a teoria básica de cálculo e medições da tensão.

■ TEORIA

Quando você está usando um voltímetro para localização de falhas num circuito, deve saber qual é a escala correta de voltagem para cada medição. Às vezes, o fabricante fornece o valor da tensão nos desenhos do circuito. Às vezes, você precisa calcular o valor das informações fornecidas.

Com um pouco de prática, você irá aprender a calcular os valores da tensão e da corrente com apenas alguns conhecimentos básicos de matemática. Se você observar bons técnicos trabalhando, poderá ver que eles, geralmente, não precisam parar e calcular os valores da tensão e da corrente. Eles podem resolver problemas envolvendo a lei de Ohm "de cabeça". Podemos mostrar como fazer isso; porém, você deve praticar muito antes de poder fazer esses cálculos com tanta facilidade.

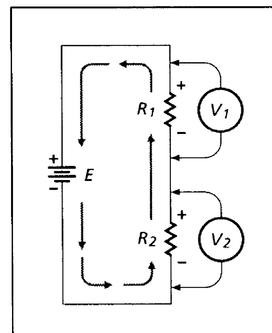


Fig. 2-32: Um circuito em série simples.

Se você colocar dois resistores do mesmo valor em série sobre uma fonte de tensão, haverá uma queda de tensão equivalente à metade da tensão da fonte sobre cada resistor. Se forem usados três resistores do mesmo valor em série, então a queda de tensão sobre cada resistor será igual a *um terço* da tensão da fonte.

Se os resistores tiverem valores diferentes, é ainda bastante fácil obter as quedas da tensão. A Figura 2-32 mostra um circuito em série bastante simples com dois resistores (R_1 e R_2). Os resistores são ligados em série quando a mesma corrente flui através dos mesmos. As setas mostram o caminho do fluxo da corrente de elétrons.

Todos os elétrons que passam através de R_2 devem também passar através de R_1 para poder voltar para o terminal positivo da bateria. Assim, R_1 e R_2 estão em série.

Uma parte da tensão da bateria fica sobre cada resistor.

Os resistores podem ter o mesmo valor ou não. Se você usar V_1 como valor da tensão sobre R_1 e V_2 como valor da tensão sobre R_2, pode facilmente determinar qual é a queda da tensão sobre cada resistor.

Em eletrônica, usamos uma equação (ou fórmula) para poder lembrar-nos mais facilmente de como resolver um problema:

$$V_1 = E\left(\frac{R_1}{R_1 + R_2}\right)$$

e

$$V_2 = E\left(\frac{R_2}{R_1 + R_2}\right)$$

Outra maneira de dizer isso é que a queda de tensão sobre um resistor em série com outros resistores pode ser obtida *dividindo o valor do resistor* pela *resistência total e multiplicando* o resultado pela *tensão da bateria.*

Vamos tentar isso para o circuito da Figura 2-33. A tensão da bateria é 400 volts. A queda de tensão sobre R_1 é V_1 :

$$V_1 = E\left(\frac{R_1}{R_1 + R_2}\right)$$

Substituindo os valores no circuito, você obtém:

$$V_1 = 400\left(\frac{100}{100 + 300}\right)$$

$$= 400\left(\frac{100}{400}\right)$$

$$= 400\left(\frac{1}{4}\right)$$

$$= 100 \text{ volts}$$

$$\mathbf{V_1 = 100 \text{ volts}}$$

Em outras palavras, a queda de tensão sobre o resistor de 100 ohms é igual a um *quarto* da tensão aplicada.

A tensão sobre R_2 é V_2

$$V_2 = E\left(\frac{R_2}{R_1 + R_2}\right)$$

Substituindo os valores do circuito,

$$V_2 = 400\left(\frac{300}{400}\right)$$

$$\mathbf{= 300 \text{ volts}}$$

Em outras palavras, a queda de tensão sobre o resistor de 300 ohms é igual a três quartos da tensão aplicada.

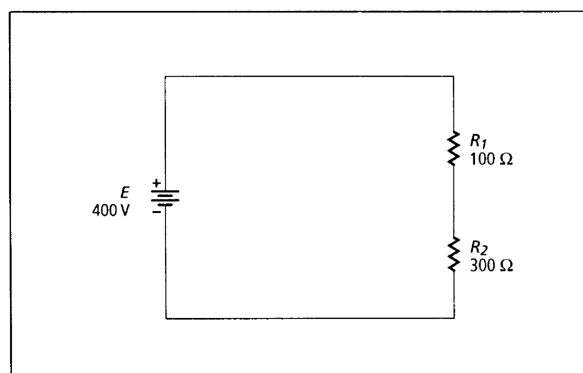


Fig. 2-33: Determinar a tensão sobre cada resistor.

Uma coisa muito importante que precisa ser lembrada sobre quedas de tensão é que a soma das quedas de tensão deve ser igual à tensão aplicada. Por exemplo, no circuito da Figura 2-33 existem duas quedas de tensão: 100 volts sobre R_1 e 300 volts sobre R_2. A soma das quedas de tensão é 100 + 300 = 400 volts, que é igual à tensão aplicada E.

Essa lei é muito importante porque pode ser usada de várias formas em eletricidade e eletrônica. É conhecida como *Lei de Tensão de Kirchoff.*

MONTAGEM DO TESTE

Observar o circuito da Figura 2-34. Realizar as ligações do circuito conforme indicado na Figura 2-34a. O diagrama chapeado desse circuito está indicado na Figura 2-34b. A tensão no circuito dos resistores em série é uma tensão alternada do secundário do transformador. Os métodos que você aprendeu para determinar quedas de tensão irão funcionar nesse circuito de corrente alternada tão bem quanto em circuitos de corrente contínua, contanto que não se usem componentes reativos (resistores são componentes não-reativos). Os capacitores e os indutores são componentes reativos.

PROCEDIMENTO

☐ *Etapa 1:* Medir e anotar o valor da tensão sobre o secundário – ou seja, a tensão alternada entre *a* e *b*.

Essa medição é feita com os resistores R_1 e R_2 ligados sobre o enrolamento do secundário.

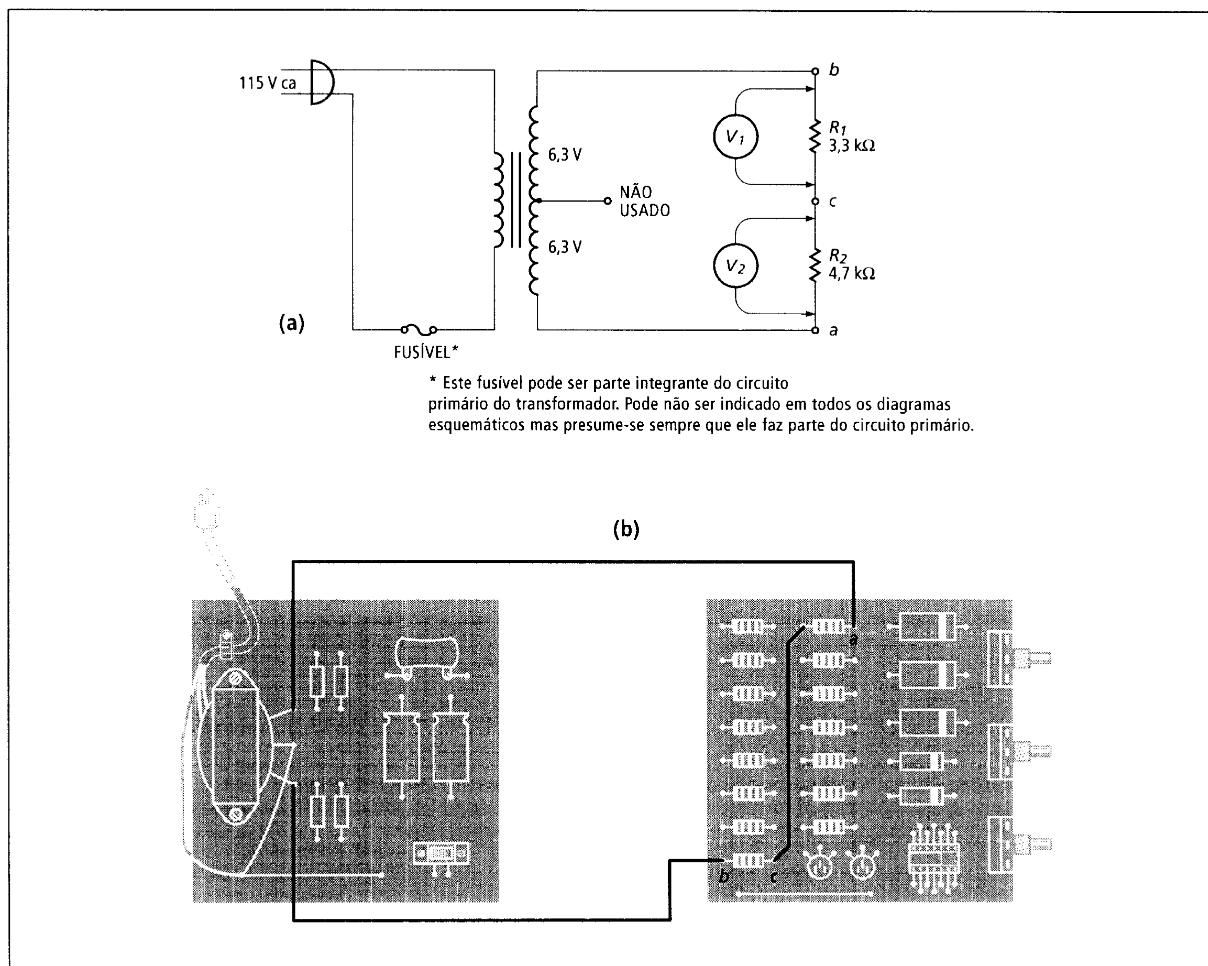
Anotar o valor da tensão. (Você deve usar um voltímetro para corrente alternada para fazer essa medição e todas as outras medições de tensão alternada.)

E = ... volts ca

Use esse valor para *E* em cada uma das equações da Etapa 2.

Você deve obter cerca de 12,6 volts sobre o secundário do transformador (no Capítulo 4 você irá estudar como funcionam os transformadores).

Fig. 2-34: Circuito para a primeira parte da experiência.



☐ *Etapa 2:* Calcular a tensão sobre R_1, usando o método descrito na seção teórica.

Para *E*, usar o valor encontrado na Etapa 1.

Anotar o valor que você calculou.

$$V_1 = E\left(\frac{R_1}{R_1 + R_2}\right)$$

$$= E\left(\frac{3{,}3 \text{ kilohms}}{3{,}3 \text{ kilohms} + 4{,}7 \text{ kilohms}}\right)$$

$$= E\left(\frac{3{,}3 \text{ kilohms}}{8{,}0 \text{ kilohms}}\right)$$

Os kilohoms podem ser cancelados:

$$V_1 = E\,(0{,}41)$$

V_1 = ... **volts ca**

☐ *Etapa 3:* Calcular a tensão sobre R_2. Usar o valor de *E* encontrado na Etapa 1.

$$V_2 = E\left(\frac{R_2}{R_1 + R_2}\right)$$

$$= E\left(\frac{4{,}7 \text{ kilohms}}{8{,}0 \text{ kilohms}}\right)$$

$$V_2 = E\,\big((0{,}587)\big)$$

V_2 = ... **volts ca**

☐ *Etapa 4:* Medir a tensão alternada sobre R_1 e anotar o valor

V'_1 = ... **volts ca**

☐ *Etapa 5:* Medir a tensão alternada sobre R_2 e anotar o valor

V'_2 = ... **volts ca**

Os valores (V'_1 e V'_2) medidos nas etapas 4 e 5 devem ser os mesmos que os valores (V_1 e V_2) calculados nas Etapas 2 e 3.

☐ *Etapa 6:* Adicionar os valores da tensão calculados nas Etapas 2 e 3. Anotar o resultado da soma aqui

$V_1 + V_2$ = ... **volts ca**

☐ *Etapa 7:* O valor que você obteve na Etapa 1 é igual à tensão aplicada – ou seja, esse valor é igual à tensão sobre o secundário do transformador?

.... **Sim ou Não**

Sua resposta deve ser sim. Isto prova que a soma das quedas de tensão deve ser igual à tensão aplicada.

A soma pode não ser *exatamente* igual à tensão aplicada. Lembre-se de que R_1 e R_2 têm valor nominal de 3,3 kilohms e 4,7 kilohms. Os valores reais provavelmente não serão exatamente iguais aos seus valores nominais. O voltímetro também tem algum efeito sobre o circuito, de modo que irá alterar ligeiramente os valores da tensão. Você deve também levar em consideração que pode haver certa porcentagem de erro nas leituras do instrumento.

☐ *Etapa 8:* Use a lei de Ohm para determinar a intensidade da corrente que passa através de R_1. Use o valor da tensão medido na Etapa 4.

$$I_1 = \frac{V'_1}{R_1}$$

$$= \frac{V'_1}{3{,}3 \text{ kilohms}}$$

I_1 = ... **miliampères (mA)**

☐ *Etapa 9:* Use a lei de Ohm para encontrar o valor da corrente através de R_2. Utilize a tensão medida na Etapa 5.

$$I_2 = \frac{V'_2}{R_2}$$

$$= \frac{V'_2}{4{,}7 \text{ kilohms}}$$

I_2 = ... **miliampères**

Os valores nas Etapas 8 e 9 devem ser os mesmos porque a corrente é a mesma em todas as partes de um circuito em série.

SEGUNDA PARTE

■ OBJETIVO

O objetivo dessa experiência é demonstrar a teoria básica para o cálculo e medição da intensidade da corrente.

■ TEORIA

Você já pôde observar que é relativamente fácil determinar as quedas de tensão em circuitos. Isto é uma coisa muito útil na localização de defeitos.

É também possível determinar facilmente a intensidade da corrente que passa por resistores ligados em paralelo. Se duas resistências iguais forem ligadas em paralelo, a corrente irá dividir-se em duas partes iguais. Metade da corrente irá passar através de cada resistor. Se três resistências iguais forem ligadas em paralelo, então um terço da corrente total irá passar através de cada resistor.

Se dois resistores em paralelo tiverem valores diferentes de resistência, existe um método simples para determinar o valor da corrente que passa através de cada resistor. (Nota: este método não é aplicável quando existem mais de dois resistores em paralelo.) Na Figura 2-35, os dois resistores desiguais (R_1 e R_2) são ligados em paralelo. Isto significa que correntes diferentes estão passando através de cada resistor. As setas indicam os caminhos da corrente de elétrons.

Observe que a corrente se divide no ponto *a* de maneira que parte da corrente total flui através de cada resistor.

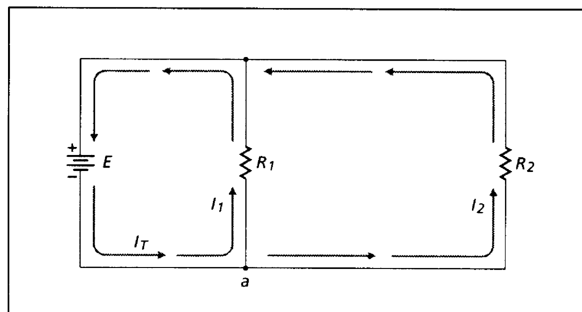


Fig. 2-35: A corrente divide-se num circuito paralelo.

Para o circuito da Figura 2-35, os valores das intensidades das correntes podem ser encontrados, utilizando-se estas equações:

$$I_1 = I_T\left(\frac{R_2}{R_1 + R_2}\right)$$

e

$$I_2 = I_T\left(\frac{R_1}{R_1 + R_2}\right)$$

Os dois valores de resistência são somados (R_1 e R_2). Em seguida, acha-se a corrente através de um resistor dividindo a resistência do outro resistor pela soma $R_1 + R_2$. Este valor é, então, multiplicado pela corrente total I_T.

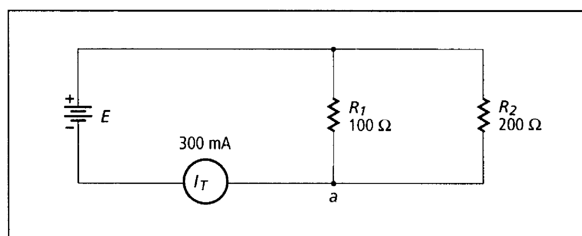


Fig. 2-36: Qual é a intensidade da corrente que flui através de cada resistor?

A Figura 2-36 mostra um exemplo de circuito. A corrente através do resistor R_1, é

$$I_1 = I_T\left(\frac{R_2}{R_1 + R_2}\right)$$

$$I_1 = 300 \text{ miliampères}\left(\frac{200}{300}\right)$$

$$= \mathbf{200 \text{ miliampères}}$$

Você pode ver aqui que dois terços da corrente passam através do resistor menor. Para achar a corrente através de R_2

$$I_2 = I_T\left(\frac{R_1}{R_1 + R_2}\right)$$

$$= 300 \text{ miliampères}\left(\frac{100}{300}\right)$$

$$= \mathbf{100\ miliampères}$$

Pelo resultado você pode ver que um terço da corrente flui através do resistor maior. Outra regra muito importante nos circuitos é que *a soma das correntes em todos os ramos paralelos deve ser igual à corrente total.*

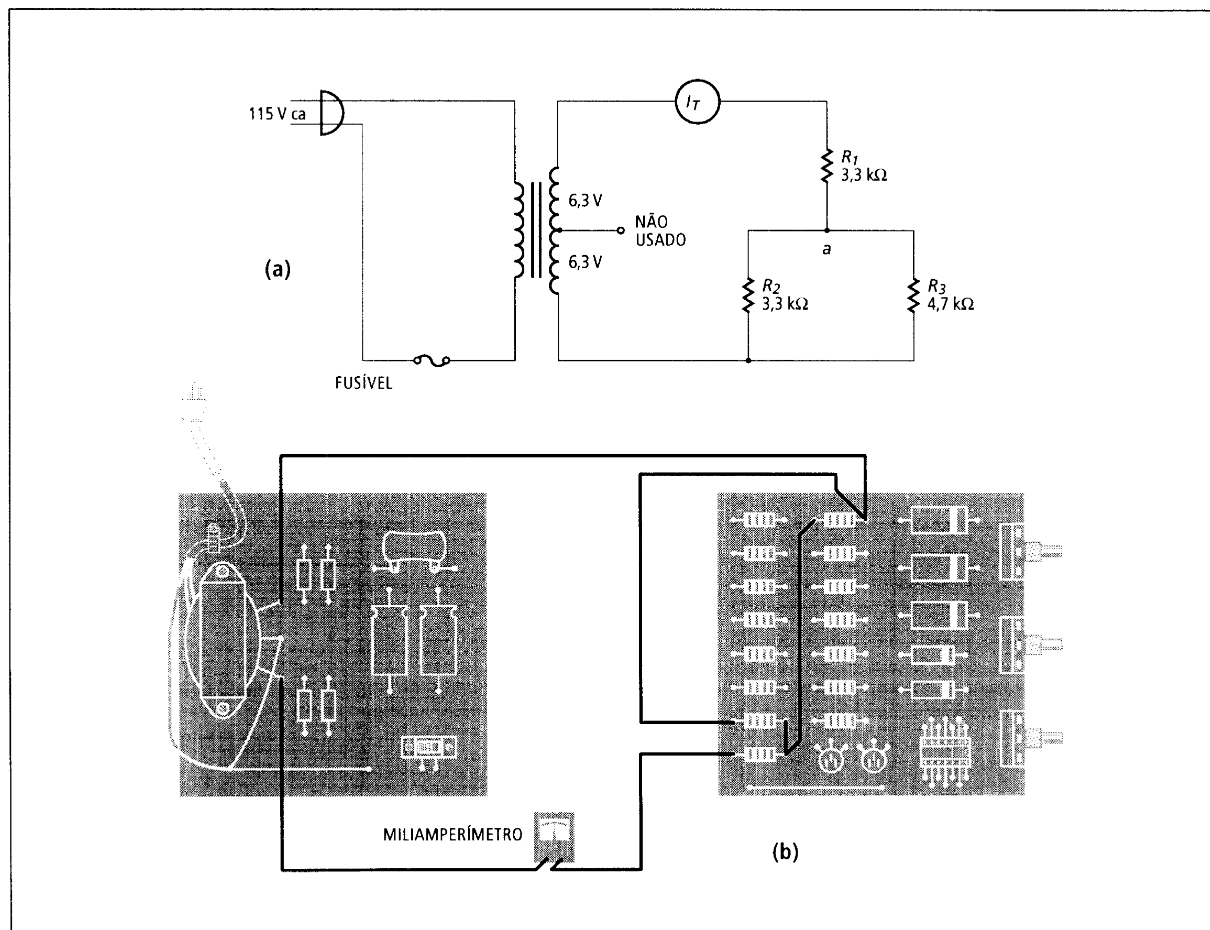
Isto é a *Lei de Kirchoff* para corrente, e é geralmente enunciada como segue: a soma das correntes que entram num ponto deve ser igual à soma das correntes que deixam este ponto.

Na Figura 2-36 a corrente total I_T que entra no ponto *a* é de 300 miliampères e a corrente total que deixa o ponto *a* é 100 + 200 = 300 miliampères.

■ MONTAGEM DO TESTE

Referir-se à Figura 2-37. Efetuar as ligações no circuito conforme indicado na Figura 2-37a. O diagrama chapeado para esse circuito está indicado na Figura 2-37b. A tensão sobre o circuito de resistores em série e em paralelo é uma tensão alternada do secundário do transformador. O método descrito para achar o valor da corrente em resistores ligados em paralelo pode ser usado tanto para corrente alternada como para corrente contínua.

Fig. 2-37: Circuito para a segunda parte da experiência.



PROCEDIMENTO

☐ *Etapa 1:* Medir e anotar V_1, a tensão sobre R_1.

V_1 = ... **volts ca**

☐ *Etapa 2:* Calcular a intensidade da corrente através de R_1, usando a lei de Ohm. Isto é,

$$I_T = \frac{V_1}{R_1}$$

$$= \frac{V_1}{3{,}3 \text{ kilohms}}$$

I_T = ... **miliampères**

Essa é a corrente total que entra no ponto *a*.

☐ *Etapa 3:* Usando o método descrito na seção teórica, calcular a corrente I_2 que passa através de R_2. Usar, para I_T, o valor encontrado na Etapa 2.

$$I_2 = I_T\left(\frac{R_3}{R_2 + R_3}\right)$$

$$= I_T\left(\frac{4{,}7 \text{ kilohms}}{3{,}3 \text{ kilohms} + 4{,}7 \text{ kilohms}}\right)$$

$$= I_T\left(\frac{4{,}7 \text{ kilohms}}{8{,}0 \text{ kilohms}}\right)$$

I_2 = ... **miliampères**

☐ *Etapa 4:* Usando o método descrito na seção teórica, determinar a corrente I_3 que é a corrente que passa através de R_3. Usar para I_T o valor encontrado na Etapa 2.

$$I_3 = I_T\left(\frac{R_2}{R_2 + R_3}\right)$$

$$= I_T\left(\frac{3{,}3 \text{ kilohms}}{3{,}3 \text{ kilohms} + 4{,}7 \text{ kilohms}}\right)$$

$$= I_T\left(\frac{3{,}3 \text{ kilohms}}{8{,}0 \text{ kilohms}}\right)$$

I_3 = ... **miliampères**

☐ *Etapa 5:* Adicionar os valores da corrente obtidos nos itens 3 e 4.

$I_2 + I_3$ = ... **miliampères**

A soma dessas correntes é igual à corrente total do item 2?

.... **Sim ou Não**

Sua resposta deve ser sim. *A soma das correntes nos dois ramos de resistores deve ser igual à corrente total.*

☐ *Etapa 6:* Medir e anotar o valor de V_2, a tensão sobre R_2.

V_2 = ... **volts**

☐ *Etapa 7:* Calcular a corrente que passa através de R_2 usando a lei de Ohm.

$$I_2 = \frac{V_2}{R_2}$$

$$= \frac{V_2}{3{,}3 \text{ kilohms}}$$

I_2 = ... **miliampères**

☐ *Etapa 8:* Medir e anotar V_3, a tensão sobre R_3.

V_3 = ... **volts**

☐ *Etapa 9:* As quedas de tensão sobre R_2 e R_3 são iguais? (Compare com suas respostas nas Etapas 6 e 8.)

.... **Sim ou Não**

Os dois valores da tensão devem ser os mesmos porque *a tensão sobre todas as partes de um circuito paralelo é a mesma.*

☐ *Etapa 10:* Calcular a corrente através de R_3, usando a lei de Ohm.

$$I_3 = \frac{V_3}{R_3}$$

$$= \frac{V_3}{4{,}7 \text{ kilohms}}$$

I_3 = ... **miliampères**

☐ *Etapa 11:* As correntes nas Etapas 5 e 7 são comparáveis com as correntes nas Etapas 2 e 3? Sua resposta deve ser sim. Isto mostra que o método para calcular as correntes que foi descrito na seção teórica fornece as respostas corretas.

■ CONCLUSÃO

Se não existirem componentes reativos (indutores ou capacitores) num circuito, você pode usar a lei de Ohm, tanto para circuitos de corrente alternada como para circuitos de corrente contínua.

Os técnicos usam os métodos anteriormente vistos para calcular a tensão ou a corrente que deve ser obtida num circuito. Em seguida, medem a tensão ou a corrente atuais. Se o valor medido não for aproximadamente igual ao valor calculado, sabem que existe problema no circuito. Antes de você aprender a localizar corretamente os defeitos, deve praticar esses métodos de determinação de tensões e correntes.

AUTOTESTE COM RESPOSTAS

(As respostas com discussões encontram-se no final do capítulo / pág. 48.)

1. Qual dos seguintes diodos semicondutores é usado como regulador de tensão?

(a) diodo varactor;

(b) diodo túnel;

(c) diodo zener;

(d) diodo retificador.

2. Qual dos seguintes componentes é um resistor cuja resistência depende da tensão aplicada?

(a) VOR;

(b) VIR;

(c) VDR;

(d) VAR.

3. Qual das aplicações abaixo não representa uma das aplicações típicas de resistores em circuitos?

(a) gerar calor;

(b) dividir tensão;

(c) armazenar energia;

(d) limitar a corrente.

4. Qual das seguintes proposições é correta?

(a) É mais fácil fazer passar uma corrente de alta freqüência através de um indutor do que fazer passar uma corrente de baixa freqüência;

(b) É mais fácil fazer passar uma corrente de baixa freqüência através de um indutor do que fazer passar uma corrente de alta freqüência.

5. Um pequeno capacitor variável é colocado em paralelo com um capacitor variável maior, de modo a alterar seu campo de valores de capacitância. O capacitor menor é chamado

(a) "trimmer";

(b) "padder";

(c) variac;

(d) gradiente.

6. Qual das seguintes aplicações não constitui uma das aplicações típicas de capacitores em circuitos?

(a) gerar calor;

(b) armazenar energia;

(c) deixar passar altas freqüências e rejeitar baixas freqüências;

(d) introduzir uma queda de tensão alternada.

7. Qual das seguintes proposições é correta?

(a) É mais fácil fazer passar altas freqüências através de um capacitor do que fazer passar baixas freqüências;

(b) É mais fácil fazer passar baixas freqüências através de um capacitor do que fazer passar altas freqüências;

(c) Originalmente, os capacitores foram usados para armazenar energia; porém, isto não constitui mais do que uma de suas aplicações em circuitos;

(d) Mesmo aumentando a tensão contínua sobre um capacitor, o mesmo nunca irá permitir o fluxo de corrente através de si.

8. Quando um resistor variável é ligado de forma que sua função principal é de controlar a corrente do circuito, ele é chamado

(a) resistor controlador;

(b) potenciômetro;

(c) varistor;

(d) reostato.

9. Qual dos seguintes tipos de capacitores é polarizado e pode somente ser usado em circuitos de corrente contínua pulsante?

(a) Capacitor de mica;

(b) Capacitor de papel;

(c) Capacitor eletrolítico;

(d) Capacitor com dielétrico de ar.

10. Se um capacitor é identificado como NPO, isto significa que

(a) ele precisa ser usado em circuitos de corrente contínua pulsante;

(b) ele possui três terminais;

(c) sua capacitância diminui com um pequeno aumento na temperatura;

(d) sua capacitância permanece quase constante quando a temperatura varia pouco.

RESPOSTAS PARA O AUTOTESTE

1. (c)

2. (c) - Um varistor ou VDR é um resistor cuja resistência depende da tensão aplicada.

3. (c) - Indutores e capacitores armazenam energia; resistores, não.

4. (b)

5. (a) - Variac e gradiente não são termos usados para capacitores.

6. (a) - Resistores geram calor. Capacitores e indutores normalmente não geram calor.

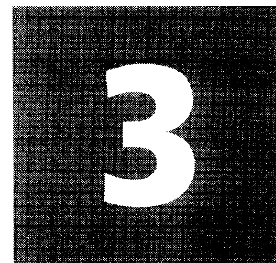
7. (a) - Compare com a pergunta 4.

8. (d) - Veja Figura 2-5a (pág.21).

9. (c) - Capacitores eletrolíticos são usados como filtro em circuitos de fontes de alimentação. Capacitores eletrolíticos são identificados nos desenhos por um sinal de mais (+) numa das placas (vide Figura 2-14 / pág. 29).

10. (d) - A sigla NPO significa Negativo-Positivo-Zero. A capacitância desses capacitores não varia com mudanças da temperatura.

Quais são os componentes de três terminais usados em circuitos eletrônicos?



INTRODUÇÃO

Considera-se, em geral, que a história da eletrônica começou quando Lee DeForest inventou o triodo. Antes do *triodo* existia alguma comunicação por rádio, porém não havia circuitos para amplificar os sinais. Portanto, a rádio-comunicação era, principalmente, baseada na intensidade do sinal transmitido. A comunicação em longa distância era difícil e freqüentemente impossível.

A maior parte dos avanços tecnológicos, no sentido de obterem-se comunicações mais confiáveis, não podê ser aplicada até que o sinal de rádio pudesse ser amplificado. A válvula triodo tornou isto, pela primeira vez, possível.

Este capítulo explica como funcionam os diversos tipos de componentes de estado sólido. Todos os componentes de amplificadores possuem uma coisa em comum: três terminais de ligação.

O material deste capítulo descreve apenas como funcionam esses componentes. O que ocorre quando você coloca esse tipo de componente num circuito, será discutido em outros capítulos.

Depois de estudar este capítulo, você poderá responder às seguintes perguntas:

- **O que é um transistor bipolar NPN?**
- **O que é um transistor bipolar PNP?**
- **O que é um transistor JFET?**
- **O que é um transistor MOSFET, do tipo redução?**
- **O que é um transistor MOSFET, do tipo aumento?**
- **O que são os transistores MOSFET, tipo P?**
- **O que é um tiristor?**

INSTRUÇÃO

O que é um Transistor Bipolar NPN?

Antes de começarmos a discussão sobre os transistores é importante rever alguns exemplos de fluxo da corrente elétrica. Neste livro tratamos da corrente elétrica como sendo um fluxo de elétrons. Parte-se da premissa de que os elétrons negativos devem fluir do terminal negativo da fonte de tensão e em direção ao terminal positivo. (Cargas semelhantes se repelem e cargas diferentes se atraem.)

Os elétrons são considerados como os portadores de corrente elétrica e são chamados *portadores de carga negativa.* Porém, existem certos materiais que possuem poucos elétrons disponíveis para o fluxo da corrente. Um exemplo disso é o material semicondutor *tipo P*, usado para a fabricação de transistores. No material tipo P a maior parte do fluxo de corrente é proporcionada pelos *portadores de carga positiva* que são chamados *lacunas* (falta de elétrons).

Outro tipo de material semicondutor é chamado *tipo N.* Neste material a maioria dos portadores de carga são elétrons.

Os materiais semicondutores (tanto do tipo P como do tipo N) irão conduzir a corrente elétrica, porém não irão conduzir corrente tão bem quanto um condutor. Quando um componente é feito de um tipo de material (ou tipo P ou tipo N) diz-se que o componente é *unipolar.* Isto significa que sua operação depende principalmente de apenas um portador de carga (elétrons ou lacunas).

Um componente *bipolar* depende tanto das lacunas como dos elétrons para sua operação.

A relação entre o fluxo de elétrons e o fluxo das lacunas pode ser expressa com a ajuda da Figura 3-1. As bolas nessa ilustração representam elétrons e o espaço representa uma lacuna.

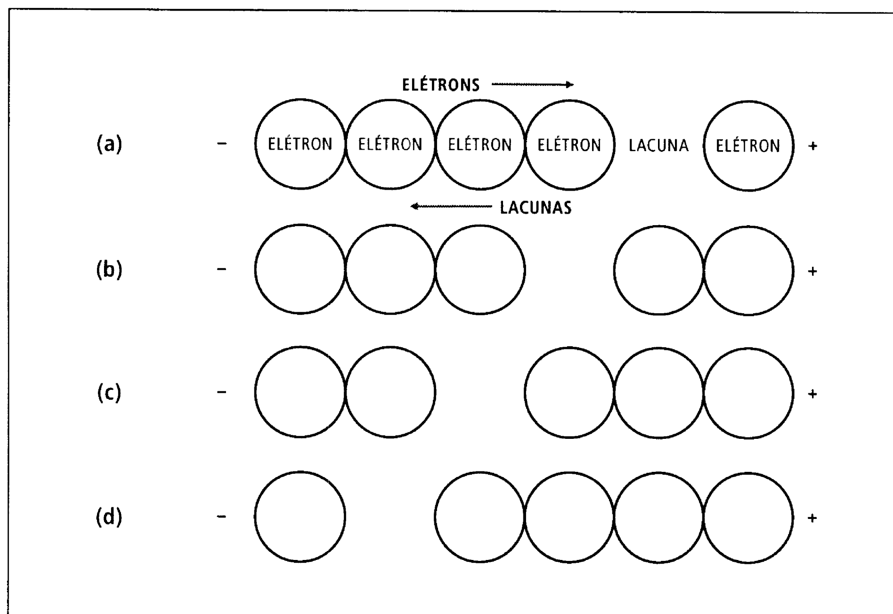


Fig. 3-1: Esta ilustração mostra como são relacionados o fluxo de elétrons e o fluxo de lacunas. A lacuna em (a) aparece deslocando-se para a esquerda em (b), (c) e (d). Ao mesmo tempo três elétrons aparecem depois de terem se deslocado um de cada vez até aparecer como em (d).

Toda vez que a corrente flui num material, existem sempre dois tipos de fluxo: um fluxo de elétrons e um fluxo de lacunas. Num material de tipo P, a corrente consiste principalmente de fluxo de lacunas, porém existe sempre um pequeno fluxo de elétrons. No material de tipo P, as lacunas são chamadas *portadores majoritários de carga* e os elétrons são chamados *portadores minoritários de carga*. No material de tipo N os elétrons são portadores *majoritários* de carga e as lacunas são portadores *minoritários* de carga.

Você pode ver aqui que os elétrons movimentam-se da esquerda para a direita ou do negativo para o positivo. A lacuna movimenta-se da direita para a esquerda ou do positivo para o negativo.

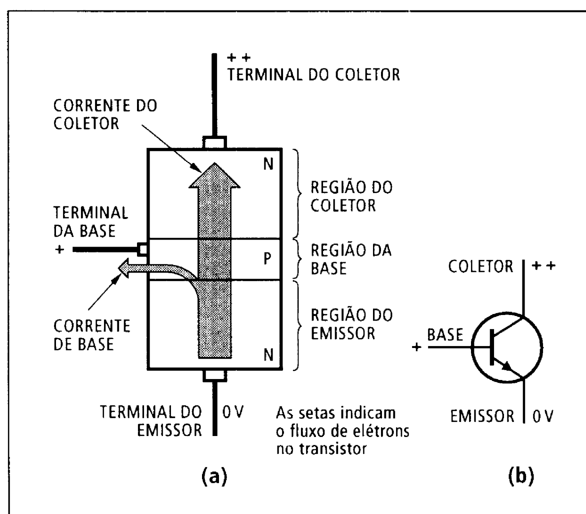


Fig. 3-2: O transistor bipolar NPN: (a) fluxo de corrente; (b) símbolo.

A Figura 3-2 mostra como é feito um tipo de transistor bipolar. Ele consiste em três camadas de material, sendo que duas delas são feitas de material do tipo N, e a outra é feita de material do tipo P. Este tipo é chamado *transistor NPN*. Os portadores de carga dentro do transistor consistem de elétrons e de lacunas. Estamos também interessados no tipo de corrente que flui externamente ao transistor. Esta corrente externa é sempre considerada uma corrente de elétrons. Pode-se ver na Figura 3-2 que o transistor possui três seções que são chamadas *emissor*, *base* e *coletor*.

O diagrama da Figura 3-2a mostra que apenas um pequeno número de elétrons irá passar através da região P (base) e para fora através do terminal da base do transistor. Portanto, a maioria dos elétrons passa através da base para o coletor. O sinal de mais (+) no terminal de base da Figura 3-2a significa que a base é positiva, com relação ao emissor (0 volts). O sinal duplo de mais (++) no coletor significa que o coletor é mais positivo que a base. Estas são as condições normais de operação. Se você aplicar as tensões sobre o transistor conforme indicado na Figura 3-2, a corrente irá consistir principalmente de elétrons fluindo entre o emissor e o coletor. Porém, lembre-se de que uma pequena quantidade de elétrons irá fluir através da base.

O princípio de operação desse componente, e uma das coisas mais importantes para você lembrar, é que uma pequena quantidade de corrente na base irá provocar o fluxo de uma grande quantidade de corrente

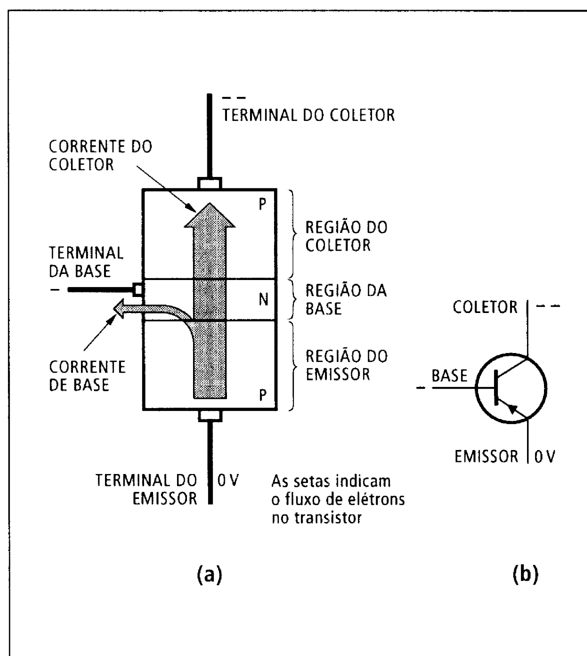
no coletor. Da mesma forma, uma pequena mudança na corrente da base irá causar uma mudança importante na corrente do coletor. O transistor é chamado *componente operado por corrente* porque a corrente de base controla a intensidade da corrente do coletor.

O símbolo para o transistor NPN está indicado na Figura 3-2b. O emissor é representado por uma seta que aponta para fora do transistor.

O que é um Transistor Bipolar PNP?

A Figura 3-3 mostra outra maneira de obter um transistor. É chamado *Transistor bipolar PNP* ou simplesmente *transistor PNP*. Você pode ver aqui que as tensões na base e no emissor são opostas àquelas indicadas na Figura 3-2. As setas na Figura 3-3a mostram o fluxo das lacunas através do transistor. Observe que o fluxo das lacunas do emissor é em direção ao coletor negativo e à base negativa. No emissor e no coletor, as lacunas são portadoras majoritárias de carga. Isto porque a lacuna é considerada uma carga positiva. Lembre-se de que o elétron é atraído para tensões positivas e a lacuna é atraída pelas tensões negativas.

Fig. 3-3: O transistor PNP: (a) fluxo de lacunas; (b) símbolo.



Como no caso do transistor do tipo NPN, uma pequena corrente de base provoca uma alteração importante na corrente do coletor.

O símbolo para o transistor PNP está indicado na Figura 3-3b. Observe que a seta no símbolo aponta para dentro.

É preciso lembrar algo muito importante com relação *a todos* os símbolos usados para semicondutores ou componentes eletrônicos de estado sólido. A seta sempre *indica* uma região N no material. A linha vertical no símbolo representa a base do transistor bipolar. No tipo PNP (Figura 3-3b) o material de tipo N é usado para a base com a seta apontando em sua direção. No tipo NPN (Figura 3-2) a seta aponta em direção ao emissor que é feito de material do tipo N.

RESUMO

1. Existem dois tipos de portadores de cargas elétricas: elétrons negativos e lacunas positivas.
2. No material do tipo N os elétrons são portadores majoritários de carga e as lacunas são portadoras minoritárias de carga.
3. No material do tipo P as lacunas são portadoras majoritárias de carga e os elétrons são portadores minoritários de carga.
4. O material do tipo N possui ambos os tipos de portadores de carga. Porém, os elétrons são os portadores principais de corrente.
5. O material do tipo P possui ambos os tipos de portadores de carga; porém, as lacunas são portadoras principais de corrente.
6. Os transistores bipolares possuem três eletrodos: emissor, base e coletor.
7. Existem dois tipos de transistores bipolares: NPN e PNP.
8. Os transistores bipolares usam ambos os tipos de portadores de carga – isto é, usam tanto elétrons como lacunas.
9. Um transistor NPN normalmente opera com a base e o coletor positivos em relação ao emissor.
10. Um transistor PNP normalmente opera com a base e o coletor negativos em relação ao emissor.

Qual é a relação entre a Corrente de Base e a Corrente de Coletor num Transistor Bipolar?

Uma relação muito importante entre a corrente de base de um transistor NPN e a corrente de seu coletor está ilustrada na Figura 3-4, que mostra que a *corrente de base* controla a *corrente de coletor* num transistor.

Você pode observar que a tensão da base é positiva e isto produz uma corrente de I_B de 1 miliampère.

RESUMO

1. Num transistor NPN aumentando a corrente da base aumenta também a corrente do coletor.
2. Num transistor PNP aumentando a corrente da base aumenta também a corrente do coletor.
3. A corrente da base de um transistor NPN é aumentada tornando a base mais positiva.
4. A corrente da base de um transistor PNP é aumentada tornando a base mais negativa.

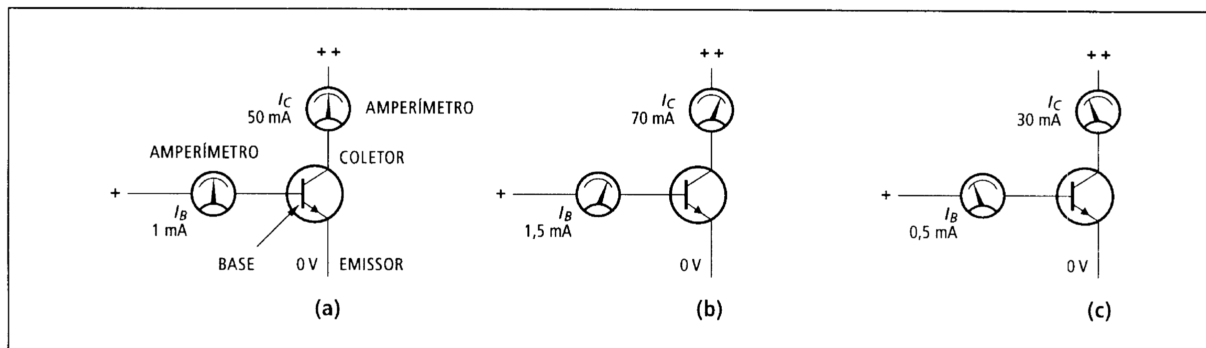


Fig. 3-4: A corrente de coletor I_C depende da corrente de base I_B (a) 50 microampères de corrente de coletor para 1 miliampère de corrente de base; (b) aumentando, a corrente de base aumenta I_C; (c) diminuindo, a corrente de base diminui I_C.

Quando essa corrente de base I_B está presente, produz uma corrente de coletor I_C de 50 miliampères. Quando a corrente de base é aumentada para 1,5 miliampères, conforme indicado na Figura 3-4b, a corrente do coletor aumenta para 70 miliampères. Um ponto muito importante a lembrar: *quando a corrente da base aumenta, a corrente do coletor também aumenta.*

Observe que a corrente da base é reduzida para 0,5 miliampère, um valor mais baixo do que o da Figura 3-4b. Reduzindo a corrente da base, reduz-se a corrente do coletor para 30 miliampères.

Pode-se assim observar que, quando a corrente da base aumenta, a corrente do coletor aumenta e, quando a corrente da base diminui, a corrente do coletor diminui.

No caso de um transistor PNP (vide Figura 3-3) o efeito teria sido o mesmo, exceto que ambos o coletor e a base seriam negativos. *Tornando mais negativa a tensão num transistor PNP, aumenta a corrente da base e aumenta a corrente do coletor.*

O que é um Transistor JFET?

A sigla JFET significa Junction Field Effect Transistor (transistor de junção com efeito de campo). É um tipo unipolar de transistor. Esse nome deriva do fato de que a maioria dos portadores de cargas fluindo através do transistor é somente de elétrons (como no caso do transistor JFET com canal N) ou apenas lacunas (como no caso do transistor JFET com canal P).

O princípio de operação do transistor JFET está indicado na Figura 3-5. Na Figura 3-5a você pode ver um transistor JFET com canal N. O material de tipo P é chamado região da *porta* e o material de tipo N é chamado o *canal* deste transistor.

As três partes desse transistor são chamadas: *a fonte, a porta* e *o dreno.*

Em operação normal, o dreno – que é o lado de saída – é positivo. A corrente de elétrons flui através do canal N. O terminal da porta é ligeiramente negativo.

Essa tensão negativa sobre a porta provoca a formação de um campo elétrico em volta da região da

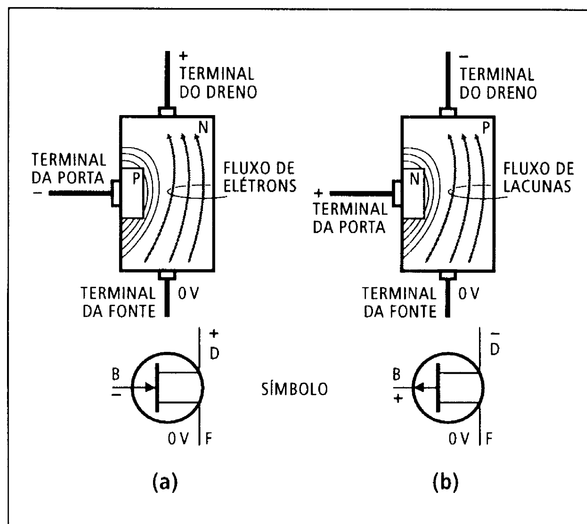


Fig. 3-5: Transistores de junção com efeito de campo: (a) com canal N; (b) com canal P.

porta, que está indicada como área sombreada na Figura 3-5a. Elétrons não podem passar através da área sombreada do campo. Quanto mais negativo for o terminal da porta, maior o campo e menor será a região através da qual os elétrons podem fluir. Desta forma, a corrente de elétrons é menor.

Eventualmente, poderia tornar o terminal da porta tão negativo que o campo iria abranger o transistor inteiro. Isto iria parar completamente o fluxo de elétrons. Neste transistor JFET a tensão sobre o terminal da porta controla o número de elétrons que podem deslocar-se através do componente. Em outras palavras, a tensão da porta controla a *corrente do dreno.* Portanto, o transistor JFET é um componente cujo funcionamento é comandado pela tensão (da mesma forma que uma válvula a vácuo).

A Figura 3-5b mostra um transistor JFET com canal P. A diferença entre os transistores JFET com canal N e com canal P é que o fluxo de corrente através do transistor com canal P consiste de lacunas e não de elétrons. Além disso, a porta é formada por material tipo P. O terminal da porta do transistor JFET com canal P é tornado positivo, com relação à fonte, e o terminal de dreno é tornado negativo com relação à fonte. A tensão positiva sobre a porta repele as lacunas. As lacunas não podem passar através do campo existente em volta da porta, que está indicado por uma área sombreada. Apesar dos portadores de carga dentro do transistor JFET do tipo P serem lacunas, a corrente do circuito externo ao transistor JFET consiste de elétrons.

Observe que os dois símbolos na Figura 3-5 diferem pela direção da seta do terminal para dentro ou para fora. A linha vertical no símbolo representa o canal. Você poderá notar que, na Figura 3-5a, o canal que é feito de material do tipo N tem a seta do terminal da porta na direção do canal. Na Figura 3-5b, o canal é de material tipo P e a seta do terminal da porta aponta na direção oposta ao canal.

	Canal N	**Canal P**
Polaridade da tensão do dreno com relação à fonte	Positiva	Negativa
Polaridade da tensão da porta com relação à fonte	Negativa	Positiva
Para aumentar a corrente do dreno...	Tornar a porta menos negativa	Tornar a porta menos positiva
Para reduzir a corrente do dreno...	Tornar a porta mais negativa	Tornar a porta mais positiva

Tabela 3-1: Como a tensão da porta afeta a corrente do dreno.

A Tabela 3-1 descreve como o transistor JFET é polarizado e também como a tensão da porta afeta a corrente de dreno. É uma tabela muito importante, não apenas porque descreve as tensões e correntes do transistor JFET, mas também porque mostra as tensões e correntes para os transistores MOSFET do tipo redução que iremos estudar a seguir.

RESUMO

1. Um transistor JFET é um componente unipolar (usa elétrons ou lacunas).
2. Existem três eletrodos num transistor JFET. Estes são: *a fonte, a porta e o dreno.*
3. Num transistor JFET a corrente flui da fonte para o dreno através de um canal. O transistor JFET é identificado pelo tipo de material semicondutor em seu canal.
4. Num transistor JFET com canal N, a porta é negativa e o dreno é positivo com relação à fonte.
5. Transistores JFET com canal P são normalmente operados com a porta positiva e o dreno negativo. (As tensões são fornecidas com relação à tensão da fonte.)
6. Um transistor JFET é um componente operado por tensão (igual a uma válvula a vácuo).

O que é um Transistor MOSFET do Tipo Redução?

Existe uma desvantagem importante no JFET que pode ser entendida se observarmos novamente à Figura 3-5. Iremos discutir essa desvantagem com relação ao transistor JFET de canal N da Figura 3-5. Você irá notar que o material P e o material N formam uma junção na região da porta e do canal. Esta junção é a mesma de um diodo de estado sólido. A Figura 3-6 mostra como um diodo de junção de estado sólido é feito.

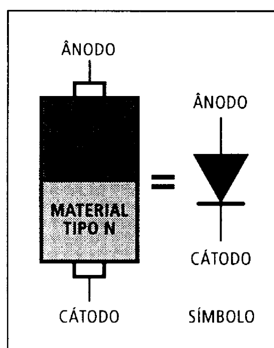


Fig. 3-6: Construção e símbolo para um diodo de junção de estado sólido.

Observe que o ânodo é feito de material tipo P e o cátodo de material tipo N. Você pode rever a ação desse diodo referindo-se à Figura 3-7.

Quando o ânodo é positivo, com relação ao cátodo, conforme indicado na Figura 3-7a, há um fluxo de corrente através do mesmo.

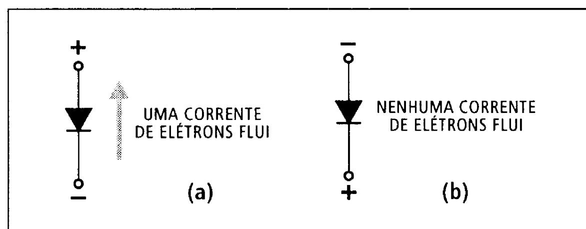


Fig. 3-7: Um diodo de junção: (a) com polarização direta; (b) com polarização reversa.

Isso chama-se *polarização direta*. Quando o diodo está com *polarização reversa*, conforme indicado na Figura 3-7b, seu ânodo é negativo com relação ao seu cátodo e não há fluxo de corrente.

Refira-se mais uma vez ao transistor JFET de canal N, da Figura 3-5a. A porta e o canal formam uma junção PN igual àquela existente no diodo. Enquanto esta junção estiver com polarização positiva, *não há fluxo de corrente no* terminal da porta. Porém, se o terminal da porta do transistor JFET de canal N for tornado positivo, em relação ao canal, a junção PN terá *polarização direta*.

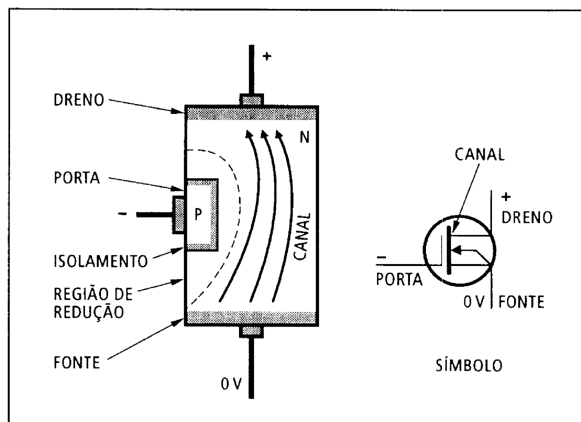


Fig. 3-8: Transistor MOSFET canal N tipo redução.

Isso irá provocar o fluxo da corrente da porta. Isto é altamente indesejável, porque o transistor JFET opera mesmo sem corrente na porta. É a *tensão* que controla a corrente do dreno e presume-se *sempre* que não há fluxo de corrente na porta, no circuito do transistor JFET.

O *transistor MOSFET* é semelhante ao transistor JFET; possui uma *camada isolante* colocada em volta da porta. A região isolante em volta da porta está claramente indicada na Figura 3-8.

Uma vez que existe material isolante em volta da porta, é muito mais difícil provocar o fluxo de corrente na porta mesmo se a junção porta-canal tiver acidentalmente polarização direta (em livros mais antigos, esse componente pode ser designado por transistor FET com porta isolada).

O isolamento é feito de material Metal-Óxido Semicondutor, daí o nome MOSFET. Possui a mesma forma de operação do transistor JFET de canal N e a Tabela 3-1 pode ser usada para determinar polaridades, assim como o efeito de mudanças na tensão da porta.

Observe o símbolo para o transistor MOSFET de canal N. A porta é mostrada separada do canal indicando que existe isolamento entre a porta e o canal. A seta aponta na direção do canal N.

Conforme aumenta a polarização negativa sobre a porta do transistor MOSFET de canal N, a área sombreada na Figura 3-8 aumenta. Isto significa que a área para fluxo dos elétrons torna-se menor e a corrente de elétrons diminui. Outra maneira de dizer isso é que uma tensão negativa maior na porta causa uma redução maior do caminho de condução. Por esta razão, o componente na Figura 3-8 é chamado *transistor com efeito de campo metal-óxido semicondutor canal N, tipo redução* ou, simplesmente, *transistor MOSFET canal N tipo redução.*

O que é um Transistor MOSFET Tipo Aumento?

Uma vez que existe uma região isolante entre a porta e o canal, é possível operar o transistor MOSFET com polarização direta na porta com relação ao canal. De fato, existe um tipo especial de transistor MOSFET que opera com polarização direta.

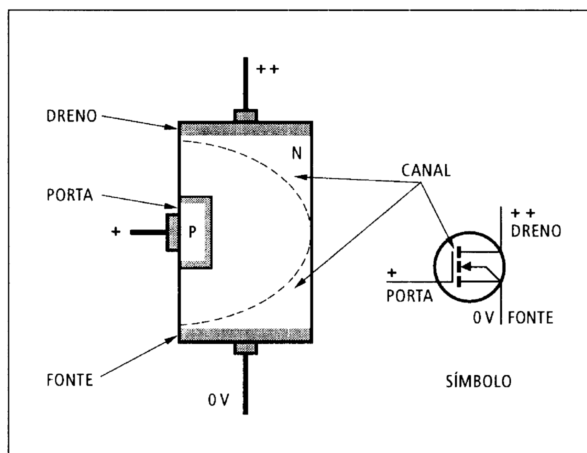


Fig. 3-9: Transistor MOSFET canal N tipo aumento.

A Figura 3-9 mostra um *transistor MOSFET do tipo aumento*. Neste componente, a região não-condutora, que é também conhecida como *região de redução*, é tornada tão extensa que impede qualquer fluxo de corrente no canal. A única maneira de obter fluxo de corrente através desse componente é aplicar uma tensão positiva sobre a porta. A tensão positiva diminui a região de redução ampliando assim a área através da qual a corrente pode fluir.

Compare os símbolos para o transistor MOSFET do tipo aumento na Figura 3-9 com aqueles do transistor MOSFET tipo redução na Figura 3-8. Observe que, num transistor MOSFET do tipo aumento, o canal está indicado por uma linha pontilhada. Isto mostra que não é um caminho completo para o fluxo de corrente, a menos que uma tensão positiva seja aplicada na porta. (A Tabela 3-1 não é aplicável ao transistor MOSFET tipo aumento.)

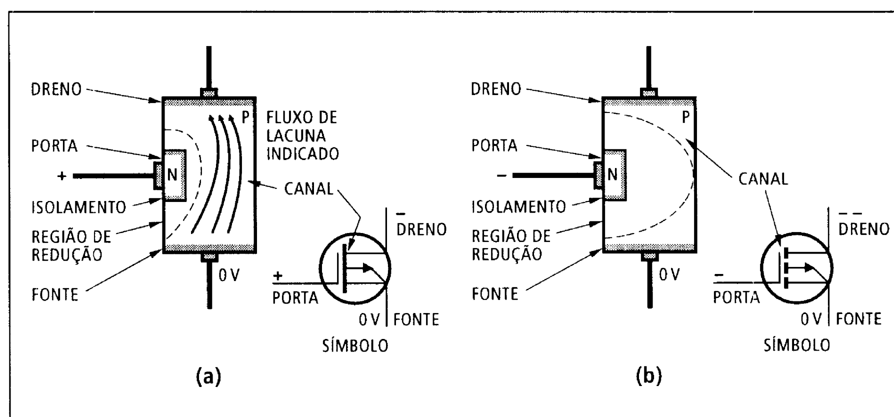
Compare as polaridades da tensão do transistor MOSFET de canal N tipo aumento na Figura 3-9 com aquelas sobre o transistor bipolar NPN na Figura 3-2 (pág. 50) e poderá observar que são operados com as mesmas.

Você poderá lembrar que, com o transistor bipolar NPN, a corrente de base deve fluir antes da corrente do coletor. Porém, com o transistor MOSFET tipo aumento, uma tensão positiva é aplicada à porta para obter fluxo da corrente de dreno. Porém, por causa da porta isolada, essa tensão não resulta em fluxo de corrente na porta.

O que são os Transistores MOSFET Tipo P?

Como podia se esperar, uma vez que é possível ter um transistor MOSFET tipo N é também possível ter transistores MOSFET tipo P. Os transistores MOSFET tipo P são indicados na Figura 3-10. Observe que o transistor MOSFET de canal P tipo redução (Figura 3-10a) possui polaridades de tensão opostas àquelas do transistor MOSFET de canal N (vide Figura 3-8). Com exceção dessa diferença, a operação dos componentes de canal N e de canal P é bastante semelhante. As setas nos símbolos do transistor MOSFET de canal P tipo redução (Figura 3-10a) e do transistor MOSFET de canal P tipo aumento (Figura 3-10b) apontam em direção oposta ao canal porque este é feito de material tipo P. Você deve lembrar que essas setas normalmente apontam

Fig. 3-10: Dois tipos de transistor MOSFET canal P:
(a) tipo redução; (b) tipo aumento.



em direção do material N e em direção oposta ao tipo P.

O transistor MOSFET de canal P tipo aumento está indicado na Figura 3-10a. Compare as polaridades da tensão com a Figura 3-9. Neste componente, é preciso ter uma tensão negativa, tanto sobre a porta como sobre o dreno (mais negativo) para pôr o mesmo em operação. Em outras palavras, você precisa, em primeiro lugar, aplicar uma tensão negativa sobre a porta para iniciar o fluxo de lacunas do componente. Não é possível obter um fluxo de corrente num transistor MOSFET tipo aumento de canal N ou P sem a presença de tensão na porta. Num transistor MOSFET de canal P tipo aumento as tensões da porta e do dreno são negativas em operação normal.

RESUMO

1. Os transistores MOSFET eram originalmente chamados *transistores com efeito de campo com porta isolada* por causa da camada isolante entre sua porta e o canal.

2. O material isolante entre a porta e o canal é um metal-óxido semicondutor. Daí o nome MOSFET.

3. Existem dois tipos de transistores MOSFET, tipo redução e tipo aumento. Ambos são produzidos com canal N ou canal P.

4. Num transistor MOSFET tipo redução a porta e o dreno são operados com tensões de polaridade opostas.

5. Num transistor MOSFET tipo aumento a porta e o dreno são operados com tensões de mesma polaridade.

6. A Tabela 3-1 é aplicável aos transistores JFET e MOSFET de redução, mas não aos transistores MOSFET de aumento.

O que é um Tiristor?

É um componente semicondutor de dois, três ou quatro terminais que pode ser usado como interruptor de ação rápida. A condição de um tiristor é LIGA ou DESLIGA, dependendo da tensão de entrada no elemento da porta.

Os dois tipos mais importantes de tiristores são indicados na Figura 3-11: o *SCR* (do inglês "Silicon Controlled Rectifier" ou retificador controlado por silício) – veja a Figura 3-11a – e o *triac* (Figura 3-11b). Ambos são interruptores de ação rápida. São postos em condição LIGA por uma tensão aplicada na porta, porém não podem ser postos em condição DESLIGA com uma tensão na porta. Para colocar esses componentes em condição DESLIGA é preciso abrir o circuito do ânodo ou do cátodo.

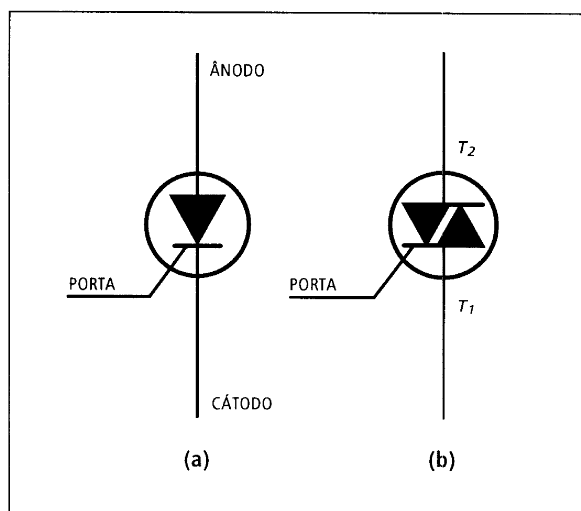


Fig. 3-11: Tiristores de 3 terminais: (a) SCR; (b) Triac.

A operação de um tiristor SCR está indicada na Figura 3-12. Aqui você pode ver um circuito com tiristor SCR no qual a tensão para a porta do SCR e o caminho da corrente do ânodo são controlados por chaves. A tensão aplicada E é usada para alimentar tanto o eletrodo do ânodo como o eletrodo da porta, dependendo das posições das chaves S_1 e S_2. O resistor R reduz a tensão E de modo a fornecer uma tensão menor para a porta do tiristor *SCR* quando a chave S_2 está fechada.

Na Figura 3-12a não existe fluxo de corrente no circuito do ânodo, porque a chave S_1 está aberta. Não há tensão na porta porque a chave S_2 está aberta, de modo que a lâmpada L não está ligada.

A Figura 3-12b mostra o que ocorre quando você fecha ambas as chaves. A chave S_1 do ânodo completa o circuito para o ânodo através da lâmpada. Fechar a chave S_2 permite que a tensão positiva aja sobre a porta do tiristor SCR, pondo-o em condição LIGA. A lâmpada está agora LIGADA.

Na Figura 3-12c, a chave para a porta foi aberta. Agora não há tensão aplicada à porta. Porém, a lâmpada permanece ligada. A razão para isso é que a porta não tem controle algum sobre a condução do tiristor SCR, uma vez que seja iniciada.

Como vamos desligar a lâmpada uma vez que o tiristor SCR começou a conduzir? Se abrirmos a chave S_1 conforme indicado na Figura 3-12d, a corrente do ânodo pára e a lâmpada será DESLIGADA. As ilustrações para a Figura 3-12 mostram apenas o efeito de aplicar tensões nos circuitos da porta e do ânodo. Este não é um circuito prático.

O triac na Figura 3-11b realiza a mesma tarefa que um tiristor SCR. É um interruptor de ação rápida. A única diferença é que a corrente pode fluir em qualquer sentido, através do triac, enquanto num tiristor SCR a corrente pode apenas fluir no sentido do cátodo para o ânodo. Assim, os triacs são usados em circuitos em que se deseja ligar uma corrente alternada enquanto os tiristores SCR são geralmente usados em circuitos em que se deseja ligar uma corrente contínua. Em ambos os dispositivos um impulso positivo de curta duração aplicado à porta irá pôr o dispositivo em condição LIGA.

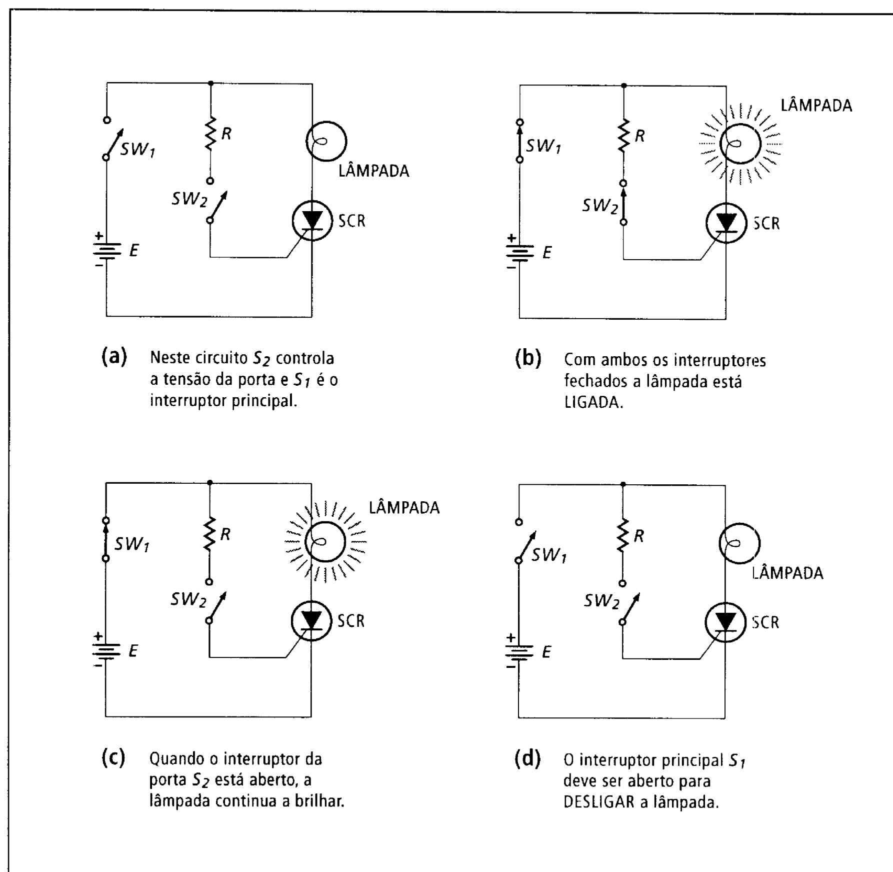


Fig. 3-12: O tiristor SCR num circuito de lâmpada: (a) neste circuito S_2 controla a tensão da porta e S_1 é o interruptor principal; (b) com ambos os interruptores fechados a lâmpada está LIGADA; (c) quando o interruptor da porta está aberto, a lâmpada continua a brilhar; (d) o interruptor principal deve ser aberto para DESLIGAR a lâmpada.

RESUMO

1. Um tiristor é um interruptor semicondutor de ação rápida.
2. Existem dois tipos de tiristores que foram estudados neste capítulo. São eles: o tiristor SCR e o triac.
3. Ambos os tipos de tiristores podem ser postos em condição LIGA com uma tensão positiva de curta duração na porta.
4. Para pôr um tiristor em condição DESLIGA é preciso abrir o circuito do ânodo ou do cátodo. Uma vez que o tiristor está em condição LIGA, a tensão da porta não tem mais controle algum sobre a condução do tiristor.

PERGUNTAS DE REVISÃO PROGRAMADA

(As instruções para o uso desta seção de revisão programada são fornecidas no Capítulo 1 / pág. 8.)

Iremos rever os conceitos importantes deste capítulo. Se você entendeu o material, poderá progredir facilmente por meio desta seção. Não pule este material porque nele apresentamos algumas informações teóricas adicionais.

1 **O transistor da Figura 3-13 possui as polaridades corretas de tensão?**

A **Sim** (passe para o item 9).
B **Não** (passe para o item 17).

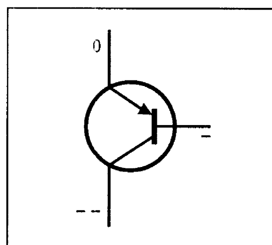


Fig. 3-13: As polaridades das tensões são corretas?

2 *Se sua resposta para a pergunta no item 9 é A, está errada. Lembre-se de que a seta sempre aponta em direção ao material tipo N. Na Figura 3-14 a seta aponta em direção oposta ao canal, de modo que não pode ser um transistor MOSFET de canal N.* Passe para o item 6.

3 *Se sua resposta para a pergunta no item 25 é B, está errada. Um transistor MOSFET pode ser posto em condição DESLIGA com o valor e a polaridade corretos da tensão da porta.*
Passe para o item 19.

4 *A resposta correta para a pergunta no item 12 é A. Num transistor NPN uma mudança na* ***corrente*** *da base causa uma mudança na corrente do coletor. Portanto, é um componente operado por corrente. Numa válvula triodo, uma mudança na* ***tensão*** *da grade causa uma mudança na corrente da placa. Uma válvula triodo é um componente operado por tensão.*
Aqui está a próxima pergunta:

Na operação normal de um amplificador com válvula pentodo, a grade auxiliar é:

A **Positiva, com relação ao cátodo** (passe para o item 26).
B **O eletrodo que recebe o sinal de entrada** (passe para o item 7).

5 *A resposta correta para a pergunta no item 23 é B. Um triac é chamado de* ***componente bilateral*** *porque pode conduzir igualmente bem nos dois sentidos da corrente.*
Aqui está a próxima pergunta:

Uma tensão positiva sobre a porta de um tiristor SCR é usada para o mesmo começar a conduzir corrente. Para colocar o tiristor SCR em condição DESLIGA:

A **Pode ser aplicada uma tensão negativa sobre a porta** (passe para o item 22).
B **Reduzir a tensão do ânodo para 0 volt** (passe para o item 12).

6 *A resposta correta para a pergunta no item 9 é B. O símbolo é para* ***um transistor com efeito de campo metal-óxido semicondutor de canal P tipo aumento*** *comumente chamado de* ***transistor MOSFET canal P*** *com aumento. Observe que a seta indica o lado oposto ao canal. É assim que você sabe que o canal é feito de material tipo P. A linha pontilhada do canal significa que é do tipo aumento.* Aqui está a próxima pergunta:

Qual dos seguintes componentes apresenta "resistência negativa"?

A **Um tetrodo** (passe para o item 23).
B **Um tiristor SCR** (passe para o item 15).

7 *Se sua resposta para a pergunta no item 4 é B, está errada. A grade auxiliar é normalmente operada com uma tensão positiva. A grade de controle recebe o sinal de entrada.*
Passe para o item 26.

8 *Se sua resposta para a pergunta no item 18 é B, está errada. Existe apenas um tipo de portador de corrente usado num transistor JFET, de modo que é um transistor unipolar e não bipolar.* Passe para o item 24.

9 *A resposta correta para a pergunta no item 1 é A. A base de um transistor PNP deve ser negativa com relação ao emissor. O coletor é mais negativo que a base.* Aqui está a próxima pergunta:

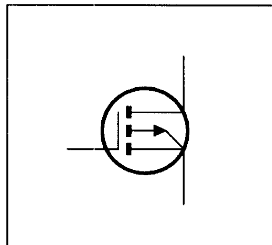


Fig. 3-14: Que tipo de componente é este?

A Figura 3-14 mostra o símbolo para:

- A **Um transistor MOSFET de canal N com aumento** (passe para o item 2).
- B **Um transistor MOSFET de canal P com aumento** (passe para o item 6).
- C **Um transistor MOSFET de canal N com redução** (passe para o item 11).
- D **Um transistor MOSFET de canal P com redução** (passe para o item 16).

10 *A resposta correta para a pergunta no item 24 é B. A base e o coletor num transistor NPN devem ser mais positivos que o emissor. O coletor é mais positivo que a base.*
Aqui está a próxima pergunta:

Para a operação normal de uma válvula triodo, se você aumentar a polarização da grade, tornando-a mais negativa, a corrente da placa irá:

- A **Aumentar** (passe para o item 20).
- B **Diminuir** (passe para o item 25).

11 *Se sua resposta para a pergunta no item 9 é C, está errada. A seta do símbolo na Figura 3-14 aponta em direção contrária ao canal, de modo que não pode ser um transistor MOSFET de canal N. A linha do canal também está pontilhada, o que significa que é um transistor MOSFET com aumento.* Passe para o item 6.

12 *A resposta correta para a pergunta no item 5 é B. Uma vez que um tiristor SCR está conduzindo, sua porta não tem controle sobre a corrente que passa através do mesmo. Isto também é certo para o triac. Uma maneira de parar a condução consiste em reduzir a tensão do ânodo para 0 volt; e então ele não pode mais atrair elétrons. Outra maneira é abrir o circuito de ânodo.* Aqui está a próxima pergunta:

Qual dos seguintes componentes é operado com corrente?

- A **Um transistor PNP** (passe para o item 4).
- B **Uma válvula triodo** (passe para o item 26).

13 *Se sua resposta para a pergunta no item 24 é A, está errada. Você deve conhecer as polaridades corretas da tensão para os componentes de 3 terminais. Reveja a seção sobre o transistor NPN* e, em seguida, passe para o item 10.

14 *Se sua resposta para a pergunta no item 26 é B, está errada. A válvula triodo não causa tanto ruído como a válvula pentodo.*
Passe para o item 18.

15 *Se sua resposta para a pergunta no item 6 é B, está errada. O tiristor SCR não tem resistência negativa.* Passe para o item 23.

16 *Se sua resposta para a pergunta no item 9 é D, está errada. A linha pontilhada de canal significa que se trata de um transistor MOSFET com aumento.* Passe para o item 6.

17 *Se sua resposta para a pergunta do item 1 é B, está errada. O transistor é do tipo PNP, de modo que é necessária uma tensão negativa sobre a base e o coletor.* Passe para o item 9.

18 *A resposta correta para a pergunta no item 26 é A. A regra básica é que a intensidade do ruído é maior para válvulas com maior número de grades. Os pentodos possuem três grades e os triodos apenas uma.* Aqui está a próxima pergunta:

Qual dos seguintes componentes é um exemplo de um transistor bipolar?

[A] **Um transistor NPN**
(passe para o item 24).
[B] **Um transistor de junção com efeito de campo**
(passe para o item 8).

19 *A resposta correta para a pergunta no item 25 é A. Tanto o tiristor SCR como o triac são exemplos de tiristores. Uma tensão na porta pode ser usada para pô-los em condição LIGA, porém não podem ser postos em condição DESLIGA, com uma tensão na porta.*
Aqui está a próxima pergunta:

A corrente de dreno de um transistor JFET de canal P operando normalmente irá aumentar ou diminuir quando a porta é tornada mais positiva?
(passe para o item 28).

20 *Se sua resposta para a pergunta no item 10 é A, está errada. Tornar a tensão da grade mais negativa, irá reduzir a corrente de placa.*
Passe para o item 25.

21 *Se sua resposta para a pergunta no item 12 é B, está errada. Um triodo é um componente operado por tensão.* Passe para o item 4.

22 *Se sua resposta para a pergunta no item 5 é A, está errada. Um tiristor SCR não pode ser posto em condição de DESLIGA tornando sua porta negativa. Isto se aplica também ao triac.*
Passe para o item 12.

23 *A resposta correta para a pergunta no item 6 é A. A resistência negativa de um tetrodo é causada pelos elétrons secundários que atingem a grade auxiliar, em vez de voltarem para a placa.*
Aqui está a próxima pergunta:

Qual dos seguintes componentes conduz igualmente bem em duas direções?

[A] **Um triodo**
(passe para o item 27).
[B] **Um triac**
(passe para o item 5).

24 *A resposta correta para a pergunta no item 18 é A. Um transistor bipolar NPN do tipo NPN ou PNP possui dois tipos de portadores de carga que fluem ao mesmo tempo. São as lacunas e os elétrons. Um transistor JFET de canal N usa apenas elétrons como portadores de carga. O transistor JFET de canal P usa apenas as lacunas como portadores de carga.* Aqui está a próxima pergunta:

Na operação normal de um transistor NPN a base é:

[A] **Negativa, com relação ao emissor**
(passe para o item 13)
[B] **Positiva, com relação ao emissor**
(passe para o item 10)

25 *A resposta correta para a pergunta no item 10 é B. Quando a grade é tornada mais negativa, um número menor de elétrons pode passar para a placa. Portanto, a corrente da placa diminui.* Aqui está a próxima pergunta:

Qual dos seguintes componentes pode ser posto em condição LIGA, mas não na condição DESLIGA?

[A] **Triac**
(passe para o item 19).
[B] **Transistor MOSFET**
(passe para o item 3).

26 *A resposta correta para a pergunta no item 4 é A. O sinal de entrada passa para a grade de controle. A grade auxiliar tem uma tensão negativa em relação ao cátodo.* Aqui está a próxima pergunta:

Qual das seguintes válvulas causa maior ruído no circuito amplificador?

[A] **Pentodo** (passe para o item 18).
[B] **Triodo** (passe para o item 14).

27 *Se sua resposta para a pergunta no item 23 é A, está errada. Um triodo irá conduzir do cátodo para a placa, porém não da placa para o cátodo.* Passe para o item 5.

28 *A corrente de dreno de um transistor JFET canal P em operação normal irá diminuir quando a porta for tornada mais positiva.*

Você agora completou as perguntas de revisão programada. A segunda etapa é colocar algumas dessas idéias na prática, em experiências de laboratório. Passe para a seção de experiências deste capítulo.

EXPERIÊNCIAS

(As experiências descritas nesta seção podem ser realizadas na placa de circuitos descrita no Anexo C ou numa montagem de laboratório similar.)

■ FINALIDADE

A finalidade dessas experiências é demonstrar para você como realizar medições de tensão num amplificador típico com transistores e também demonstrar o que elas informam sobre o amplificador.

■ TEORIA

Todos os componentes amplificadores de 3 terminais que você estudou neste capítulo possuem, pelo menos, uma coisa em comum. Todos eles requerem que um dos eletrodos seja ou positivo ou negativo, em relação aos outros eletrodos. Por exemplo, a placa de uma válvula a vácuo deve ser positiva, em relação ao cátodo. O coletor de um transistor PNP deve ser negativo, em relação ao seu emissor, e o dreno de um transistor JFET de canal N deve ser positivo, em relação à sua fonte. Sem a tensão adequada sobre um componente o mesmo não pode operar.

Outro requisito que esses componentes têm em comum é que deve haver uma *tensão de polarização* sobre um eletrodo que normalmente é usado para controle. A grade de uma válvula a vácuo deve ser negativa, em relação ao seu cátodo. A base de um transistor PNP deve ser negativa, em relação ao seu emissor, e a porta de um transistor JFET de canal N deve ser negativa, em relação à sua fonte. Sem a tensão adequada de polarização, o componente pode entrar em saturação.

Isso significa que a corrente máxima possível está fluindo através do mesmo e o sinal de entrada terá pouco ou nenhum controle sobre o fluxo de corrente. Em alguns casos, a corrente de saturação será tão elevada que o componente será destruído pelo calor excessivo gerado pela corrente.

Em resumo, todos os componentes de três terminais devem ter a polaridade adequada de tensão aplicada aos mesmos e devem também ter a polarização adequada para limitar o fluxo de corrente através dos mesmos, durante a operação normal.

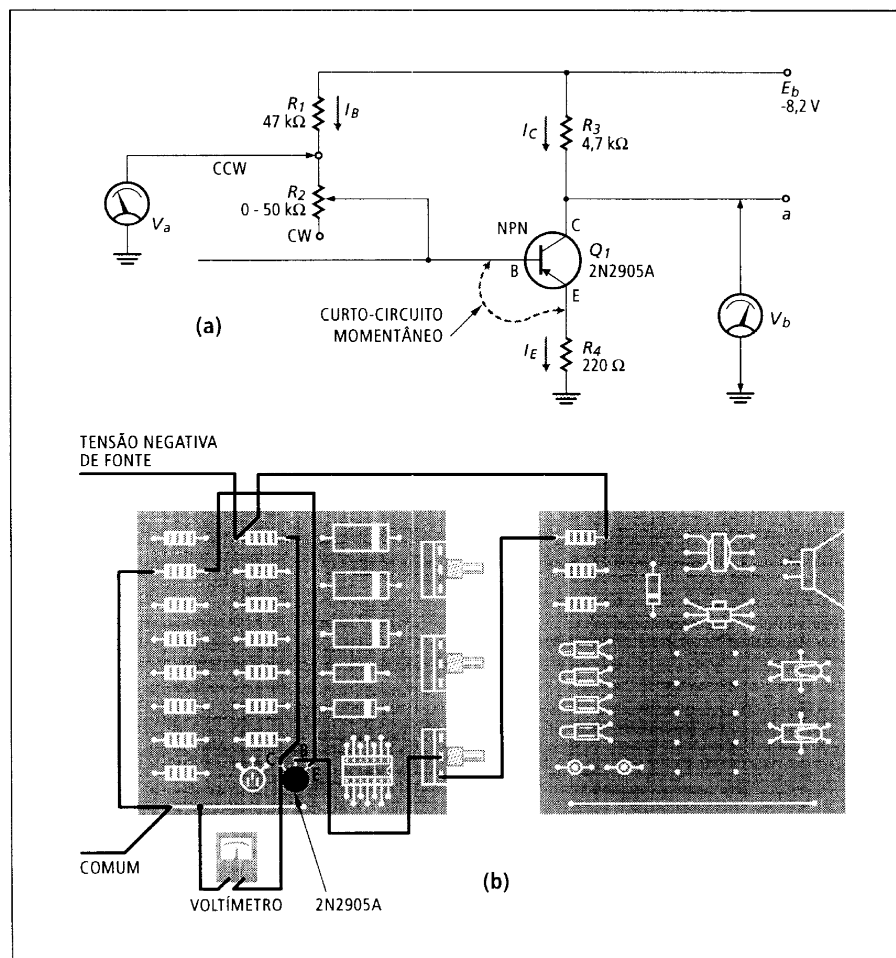
A tensão sobre o componente e a tensão de polarização são geralmente proporcionadas por uma fonte de corrente contínua. Essa nem sempre é a maneira mais adequada. Um tiristor, por exemplo, algumas vezes obtém sua tensão de operação de um meio ciclo da tensão da linha de alimentação.

Como você sabe, a linha de alimentação de corrente alternada possui uma tensão positiva em relação à terra, durante um meio ciclo e uma tensão negativa, durante o outro meio ciclo. Assim, um tiristor SCR pode também agir como retificador.

Uma fonte de alimentação de corrente contínua proporciona tanto a tensão de polarização como a de operação para o circuito de saída. Para analisar um circuito amplificador, é uma boa idéia começar medindo as tensões contínuas. Se as tensões contínuas adequadas não estiverem presentes, pode-se dizer que o circuito amplificador não está funcionando corretamente. Ademais, conforme você for adquirindo maior experiência, irá aprender a dizer qual a parte específica do amplificador que não está operando adequadamente simplesmente realizando as medições de corrente contínua. No diagrama esquemático fornecido pelo fabricante, as tensões contínuas e a polarização devem estar indicadas, porém, nos casos em que as tensões não são fornecidas você terá que conhecê-las. Você, pelo menos, terá que saber as polaridades corretas e as tensões para poder realizar as medições corretamente. Em cada um dos componentes amplificadores discutidos neste capítulo, as polaridades corretas e as tensões são fornecidas. Você deve rever esse material periodicamente, até ter memorizado as polaridades e as tensões.

Nessa experiência, você irá usar o circuito indicado na Figura 3-15. A Figura 3-15a mostra um diagrama esquemático e um diagrama chapeado está indicado na Figura 3-15b. Este é um amplificador transistorizado simples. Os resistores R_1 e R_2 proporcionam queda da tensão positiva de alimentação E_b, de modo que a mesma possa ser usada para obter a intensidade adequada da corrente de base I_B.

Fig. 3-15: Circuito transistorizado para experiência: (a) diagrama esquemático; (b) diagrama chapeado do circuito transistorizado.



O resistor R_2 é tornado variável, de modo que a corrente da base possa ser controlada em certa faixa de valores. A conexão de 2 terminais de R_2 é chamada *reostato*. O reostato é um resistor variável ligado de tal forma que possa controlar a corrente.

O resistor R_3 é o de carga do coletor para o circuito. Quando o circuito está sendo usado como amplificador, a tensão amplificada do sinal é desenvolvida sobre R_3. O sinal de saída para o circuito é retirado no ponto *a*.

O resistor do emissor R_4 é usado para estabilizar o amplificador. Você irá estudar a ação desse resistor num capítulo mais adiante. (I_E significa corrente do emissor.)

Todas as medições de tensão serão feitas em relação a um ponto comum (massa). Este é o método usual para realizar tais medições num circuito amplificador. As setas sólidas mostram o fluxo de elétrons fora do transistor.

■ MONTAGEM DO TESTE

Realizar as ligações do circuito conforme indicado na Figura 3-15.

A tensão da fonte de alimentação deve ser negativa porque o transistor é do tipo PNP. Note que R_2 está ligado de tal forma que a resistência é mínima quando o resistor variável está totalmente na posição anti-horária. Quando totalmente em posição horária, a resistência total do circuito de base é de 50 k mais 47 k ou 97 k .

A Figura 3-16a mostra num diagrama esquemático de como a tensão da fonte de alimentação é obtida. Isto é um retificador de meia onda com capacitor de filtro. Observe as conexões adequadas para o diodo e o capacitor eletrolítico. Estes componentes devem ser ligados conforme indicado para que o circuito possa operar corretamente. O diagrama chapeado é indicado na Figura 3-16b.



Em uma das partes dessa experiência você deverá colocar em curto as conexões do emissor e da base.
***Nunca* coloque em curto a base e o coletor de um transistor. Fazer isso, iria causar um fluxo excessivo de corrente de base e provavelmente irá destruir o transistor. Lembre-se sempre disso ao fazer medições ou procurar defeitos em circuitos transistorizados.**

■ PROCEDIMENTO

☐ *Etapa 1:* Girar R_2 para sua posição máxima no sentido anti-horário (resistência mínima). Medir a tensão da fonte de alimentação com o circuito transistorizado ligado à fonte de alimentação. Lembre-se, deve ser uma tensão negativa.

E_b = – .... **volts**

☐ *Etapa 2:* Medir a tensão na junção de R_l e R_2. Esta medição de tensão está indicada no voltímetro V_a no diagrama esquemático.

V_a = – .... **volts**

☐ *Etapa 3:* Você poderia encontrar a tensão sobre o resistor R_l, vamos chamá-la de V_l, com as informações que você possui agora?

.... **Sim ou Não**

☐ *Etapa 4:* Sua resposta deve ser "sim". Você conhece E_b e V_a. A tensão sobre R_l é a diferença entre esses valores de tensão. Obtenha o valor de V_l.

$V_l = E_b - V_a =$ .... **volts**

(Você quer saber qual é a queda de tensão, de modo que pode ignorar os sinais negativos.)

☐ *Etapa 5:* Você conhece a tensão sobre R_l e a resistência de R_l, de modo que agora pode achar a corrente através de R_l, aplicando a lei de Ohm. Isto é, a corrente de base I_B para o transistor.

$$I_B = \frac{V_l}{R_l} = \frac{V_l}{47 \text{ kilohms}}$$

I_B = ... **miliampères**

☐ *Etapa 6:* Medir a tensão V_b, conforme indicado no diagrama do circuito.

V_b = – .... **volts**

☐ *Etapa 7:* O transistor está conduzindo corrente?

.... **Sim ou Não**

Sua resposta deve ser "sim". Se o valor de V_l for diferente da tensão aplicada, então ocorre uma queda de tensão sobre R_3. Isto significa que deve haver uma corrente através de R_3, de modo que deve haver um fluxo de corrente do coletor. Esta é uma medição importante. Os técnicos freqüentemente irão medir a tensão do coletor para ver se um transistor está conduzindo corrente. Isto é parte do procedimento de localização de defeitos.

☐ *Etapa 8:* Com o voltímetro ligado para medir a tensão do coletor, colocar em curto o emissor e a base no transistor. Tenha bastante cuidado para *não colocar outra coisa em curto.* Um curto emissor-base está indicado com uma linha pontilhada na Figura 3-15.

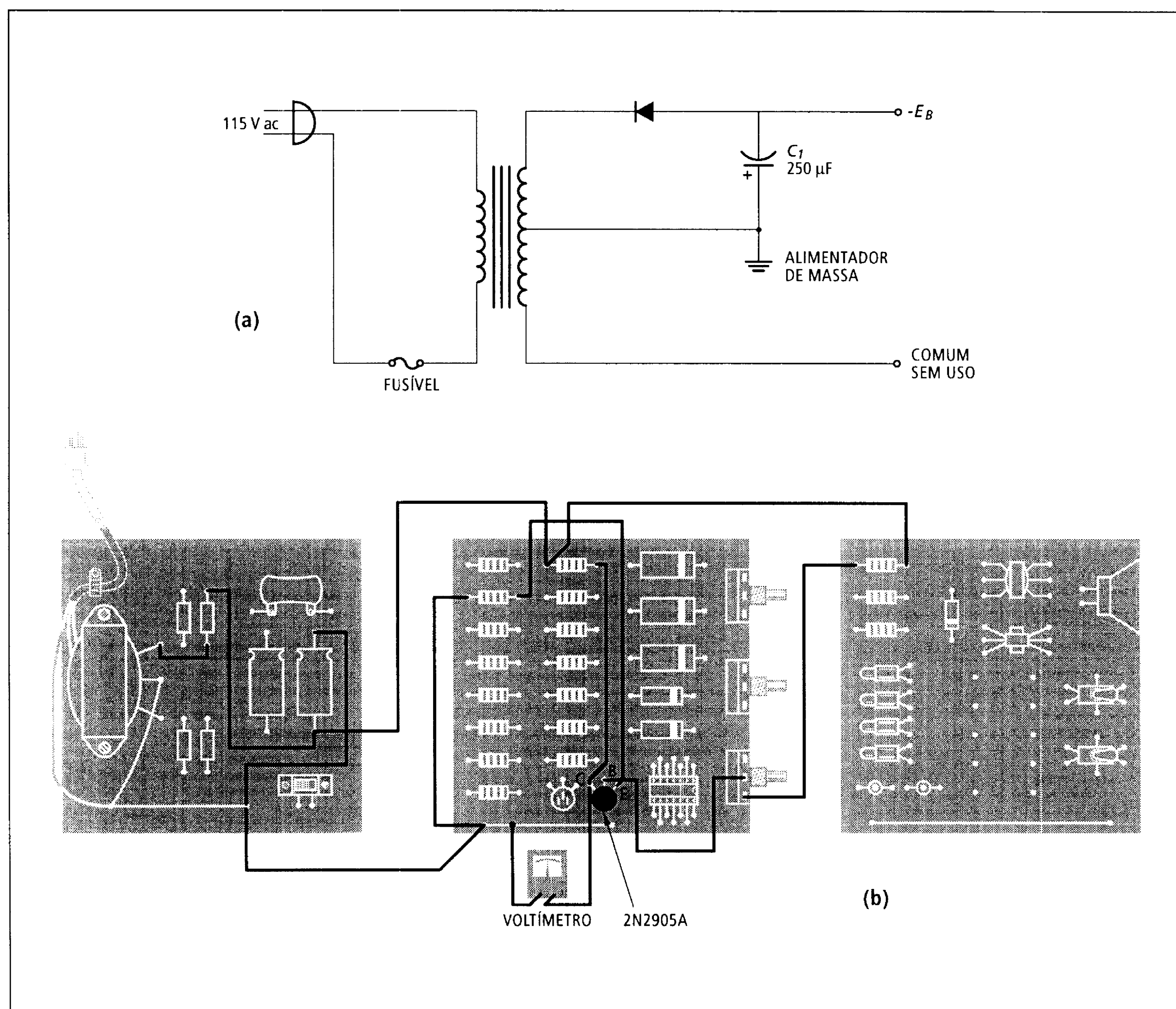
O curto emissor-base causa alguma mudança na tensão do coletor V_B?

Sim ou Não

Fig. 3-16: Circuito de fonte de alimentação para experiência: (a) diagrama esquemático; (b) diagrama chapeado para a fonte de alimentação mostrando as conexões para o circuito transistorizado para a experiência (Fig. 3-15 / pág.62).

Sua resposta deve ser "sim". O curto entre o emissor e a base interrompe a condução do transistor e impede os portadores de carga de se deslocarem sobre a junção emissor-base. Lembre-se de que a corrente da base deve fluir no transistor para que haja fluxo de corrente do coletor. Quando você colocar em curto a base com o emissor, não há fluxo de corrente do coletor através de R_3. Portanto, não havendo tensão sobre R_3, V_b torna-se igual a E_b.

O teste de colocar em curto o emissor e a base é usado para indicar se a corrente da base de um transistor pode controlar a corrente do coletor e *nunca* deve ser usado para testar válvulas (curto entre grade e cátodo), transistores de junção JFET ou transistores MOSFET.



☐ *Etapa 9:* Determinar a queda de tensão sobre o resistor do coletor R_3. Chamar essa queda de tensão V_3.

$V_3 = E_b - V_b =$ .... **volts**

Mais uma vez você pode ignorar os sinais negativos porque quer apenas o valor da queda de tensão.

☐ *Etapa 10*: Você conhece a tensão sobre R_3 e a resistência de R_3. Use a lei de Ohm para encontrar a corrente através de R_3. Esta é a corrente do coletor I_C.

$$I_C = \frac{V_3}{R_3}$$

= .... **miliampères**

☐ *Etapa 11:* Girar R_2 para sua posição máxima no sentido horário. Você irá agora achar a corrente da base I_B e a corrente do coletor I_C. Uma vez que a resistência do circuito da base é diferente, a corrente da base também será diferente. Se o transistor estiver operando corretamente, a alteração da corrente da base irá causar uma alteração na corrente do coletor.

☐ *Etapa 12*: Medir V'_a. Este é o novo valor de V_a já que a resistência de R_2 foi alterada.

$V'_a = -$ .... **volts**

☐ *Etapa 13:* Determinar a nova tensão sobre R_1 ou V'_1.

$V'_1 = E_b - V'_a$

= .... **volts**

☐ *Etapa 14:* Determinar o novo valor da corrente da base que agora está fluindo.

$$I'_B = \frac{V'_1}{R_1} = \frac{V'_1}{47 \text{ kilohoms}}$$

= .... **miliampères**

☐ *Etapa 15:* Medir a nova tensão de coletor do transistor V'_b.

$V'_b =$ .... **volts**

☐ *Etapa 16:* Determinar a nova tensão sobre R_3.

$V'_3 = E_b - V'_b =$ .... **volts**

☐ *Etapa 17:* Determinar a corrente do coletor usando a lei de Ohm.

$$I'_C = \frac{V_3}{R_3}$$

= .... **miliampères**

☐ *Etapa 18:* Num transistor bipolar uma mudança da corrente da base causa uma mudança da corrente do coletor. O símbolo é usado com o signif icado de variação, de modo que I_B significa variação de I_B. Determinar a variação na corrente de base quando o resistor variável R_2 for alterado totalmente da sua resistência mínima no sentido anti-horário, para a resistência máxima, totalmente no sentido horário.

$I_B \;\; = I_B - I'_B$

= .... **miliampères**

☐ *Etapa 19:* Determinar a variação na corrente do coletor quando R_2 foi alterado do valor mínimo da resistência para o seu valor máximo.

$I_C = I_C = I'_C$

= .... **miliampères**

☐ *Etapa 20:* O ganho de corrente é a magnitude da variação da corrente do coletor, dividido pela magnitude da variação na corrente da base que produziu a variação na corrente do coletor. Determinar o ganho de corrente.

$$\text{Ganho de corrente} = \frac{I_C}{I_B} = \text{............}$$

O fabricante indica o ganho de corrente β (pronunciado BETA). Atualmente, o valor deveria ser encontrado considerando variações muito pequenas na corrente da base I_B, medindo em seguida a variação resultante na corrente do coletor I_C. O fabricante indica o ganho de corrente para um transistor 2N2905A como sendo 100. Compare isso com o valor que você encontrou. Você não irá obter o mesmo valor porque a corrente de base variou sobre uma faixa muito grande e porque os transistores diferem. Além disso, o valor que você obteve para o ganho de corrente aqui é para o *circuito* inteiro e não para o transistor individualmente.

■ CONCLUSÃO

Nessa experiência, você realizou medições de tensão contínua para determinar se o circuito transistorizado está operando adequadamente. A primeira etapa na análise do comportamento de um circuito amplificador é fazer as medições de corrente contínua. Se você não tiver as tensões das correntes contínuas corretas, o componente amplificador de 3 terminais não pode estar operando corretamente. Para a maioria dos circuitos que usam componentes de 3 terminais, medições de corrente contínua são suficientes para indicar se o circuito está trabalhando corretamente.

Você demonstrou aqui que a corrente de base num circuito com transistores bipolares controla a corrente do coletor. Para a verificação rápida de circuitos transistorizados, alguns técnicos colocam em curto o emissor com a base e anotam a mudança na tensão do coletor. Este método de teste nunca deve ser usado para qualquer componente amplificador de 3 terminais, a não ser nos *transistores bipolares* NPN e PNP. Da mesma forma, não deve ser usado com amplificadores de acoplamento direto que você irá estudar no Capítulo 8.

AUTOTESTE COM RESPOSTAS

(As respostas com discussões encontram-se no final do capítulo / pág. 68.)

1. Uma seta num símbolo eletrônico sempre indica a direção da(o):
(a) base;
(b) material N;
(c) material P;
(d) emissor.

2. Qual dos seguintes componentes pode conduzir corrente em qualquer direção?
(a) um diodo retificador;
(b) uma válvula triodo;
(c) um tiristor SCR;
(d) um triac.

3. Num amplificador de válvula triodo o sinal de entrada passa pela grade de controle.
(a) isto está certo;
(b) isto está errado.

4. Um componente de 3 terminais usado como dispositivo LIGA-DESLIGA é chamado:
(a) um pentodo;
(b) um triodo;
(c) um tiristor;
(d) bipolar.

5. Na operação normal de um transistor PNP quando a base for tornada mais negativa a corrente do coletor:
(a) aumenta;
(b) diminui.

6. **O portador de carga no material P é:**
(a) a lacuna;
(b) o elétron.

7. Num transistor NPN, qual a polaridade normal da tensão sobre o coletor com relação à base?
(a) A base é mais positiva do que o coletor;
(b) O coletor é mais positivo do que a base;
(c) Não há diferença entre a tensão sobre a base e o coletor.

8. Num diodo de junção o ânodo é feito de:
(a) material tipo N;
(b) material tipo P.

9. Qual dos seguintes transistores com efeito de campo não irá conduzir corrente da fonte para o dreno a menos que haja uma tensão de polarização sobre a porta?
(a) transistor JFET de canal N;
(b) transistor MOSFET tipo redução;
(c) transistor MOSFET tipo aumento;
(d) transistor JFET de canal P.

10. Qual das seguintes suposições está certa?
(a) Dois diodos podem ser ligados juntos para formar um transistor.
(b) Os portadores majoritários de carga num material do tipo P são elétrons.
(c) Todos os transistores JFET são do tipo aumento.
(d) Um transistor poderá ser usado como diodo porque possui junções PN.

RESPOSTAS PARA O AUTOTESTE

1. (b)

2. (d) - Tanto os tiristores SCR como o diodo retificador irão conduzir uma corrente apenas do cátodo para o ânodo. A válvula triodo conduz apenas do cátodo para a placa.

3. (a) - A grade de controle é o eletrodo para o sinal de entrada num triodo, tetrodo ou pentodo.

4. (c) - Exemplos de tiristores são os tiristores SCR e os triacs.

5. (a) - Tornar a base mais negativa aumentará o fluxo de corrente da base e isto aumentará a corrente do coletor.

6. (a) - Você pode pensar na lacuna como sendo uma carga positiva.

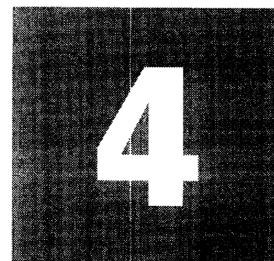
7. (b) - Isto é um ponto muito importante. Para alguns tipos de transistores, se você tornar as tensões da base e do coletor iguais, mesmo durante um curto espaço de tempo, o transistor será destruído.

8. (b)

9. (c)

10. **(d)** - Com exceção da escolha (d), todas as suposições na pergunta 10 são completamente erradas.

Quais são os componentes eletromagnéticos usados em circuitos eletrônicos?



INTRODUÇÃO

Anteriormente, definimos a *eletrônica* como a ciência de pôr os elétrons para trabalhar. A eletrônica trata do uso de diodos, válvulas eletrônicas, transistores de efeito de campo e FETs. Existem alguns exemplos de componentes que controlam o fluxo de elétrons. Além dos componentes eletrônicos que controlam o fluxo de elétrons, você poderá também encontrar componentes elétricos como: resistores, capacitores, indutores, transformadores e relés. Os dois últimos componentes constituem o assunto deste capítulo. São chamados *eletromagnéticos* porque seu funcionamento depende tanto das correntes elétricas como dos campos magnéticos.

Neste capítulo, você irá rever alguns dos princípios básicos do eletromagnetismo. Em seguida, você irá estudar a aplicação de transformadores e de relés em eletrônica e estará capacitado a responder às seguintes perguntas, depois de estudar este capítulo:

- **Qual é a relação entre corrente e magnetismo?**
- **O que é a Lei de Indução Eletromagnética de Faraday?**
- **O que é a Lei de Lenz?**
- **O que são transformadores?**
- **Indique alguns tipos de perdas de transformadores.**
- **Quais são os usos de transformadores em circuitos eletrônicos?**
- **Como funciona um relé?**

INSTRUÇÃO

Qual é a relação entre Corrente e Magnetismo?

Nos primeiros dias de experiências com eletricidade, concluiu-se que a eletricidade e o magnetismo eram duas coisas completamente diferentes. Conforme a história, Hans Christian Oersted estava convencido de que não existia relação entre eles. Durante uma de suas conferências, ele descobriu, acidentalmente, que *sempre* existe um campo magnético quando existe uma corrente elétrica.

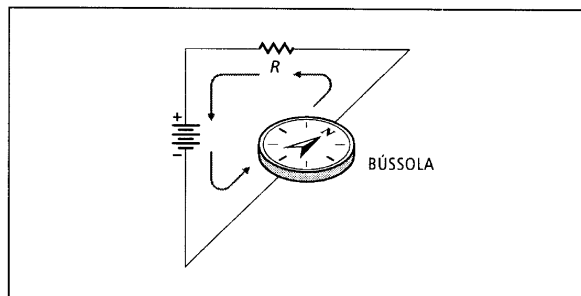


Fig. 4-1: Experiência de Oersted. As setas mostram o fluxo da corrente de elétrons.

A experiência de Oersted está ilustrada na Figura 4-1. As setas da ilustração mostram a direção do fluxo da corrente de elétrons. Uma bússola é colocada sobre o condutor no circuito. A agulha da bússola sempre gira colocando-se em ângulo reto com a direção do fluxo da corrente. Isto está indicado na figura. Desta simples experiência, podemos deduzir uma regra: *quando existe um fluxo de corrente de elétrons, existe sempre um campo magnético. O campo magnético está em ângulo reto com a direção do fluxo da corrente.* Isto sempre acontece dessa forma.



Fig. 4-2: Quando a corrente flui, um campo magnético a envolve. A direção do campo pode ser determinada pela regra da mão esquerda.

O campo magnético que acompanha a corrente está em volta do fio condutor, conforme indicado na Figura 4-2. O aumento da corrente torna o campo magnético mais forte. Invertendo a direção da corrente, inverte-se a direção do campo magnético. O campo magnético é, geralmente, representado por linhas ou setas. As setas mostram a direção do campo magnético. Presume-se, sempre, que o campo magnético vai do pólo sul do ímã para o pólo norte. A palavra *fluxo* é freqüentemente usada em vez de campo magnético ou linhas de campo. De fato, o fluxo pode ser definido como as linhas do campo magnético.

A direção do campo magnético pode ser facilmente determinada pelo que se chama *a regra da mão esquerda*. A regra rege que se você segurar o fio condutor (mentalmente) com sua mão esquerda, de modo que seu polegar indique a direção do fluxo da corrente de elétrons, seus dedos irão ficar em volta do fio condutor, na direção do campo magnético. Isto está, também, ilustrado na Figura 4-2. (O fluxo da corrente de elétrons é usado neste livro. Em outras palavras, a direção do fluxo de corrente é sempre considerada do negativo para o positivo.)

O fato de que *existe sempre um campo magnético com fluxo de corrente* e de que *a força do campo magnético depende diretamente da intensidade do fluxo de corrente* são as duas coisas básicas mais importantes a serem lembradas em seu estudo sobre eletromagnetismo.

O que é a Lei de Indução Eletromagnética de Faraday?

Uma lei básica muito importante que relaciona o magnetismo e a eletricidade é a *lei de indução eletromagnética de Faraday.* Esta lei afirma que *toda vez que houver movimento entre um campo magnético e um condutor, ocorre uma tensão.*

A idéia básica da lei de Faraday está ilustrada na Figura 4-3. O aparelho medidor nessas ilustrações indica 0 volt no centro da escala. Uma tensão positiva no ponto *A* faz com que o voltímetro se desloque para a direita; uma tensão negativa faz o ponteiro deslocar-se para a esquerda. Na Figura 4-3a, você está puxando o ímã para fora do centro de uma bobina. O campo magnético em volta do ímã corta as espiras da bobina e provoca indução de uma

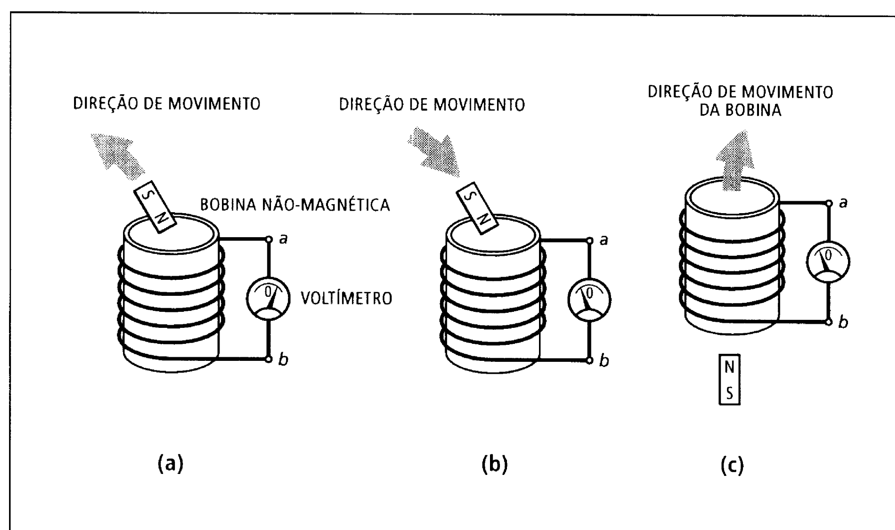


Fig. 4-3: Uma demonstração da Lei de Faraday de indução eletromagnética: (**a**) puxar o ímã do centro da bobina causa indução de uma tensão; (**b**) inverter a direção de movimento inverte a polaridade da tensão induzida; (**c**) se o ímã não se deslocar, mas a bobina se deslocar, uma tensão será também induzida.

tensão. Conforme indicado na Figura 4-3b, se você inverter a direção de movimento do ímã, isso irá inverter a polaridade da tensão. Na Figura 4-3c, o ímã é estacionário e a bobina está sendo deslocada.

Mais uma vez, existe um movimento entre as espiras da bobina e o campo magnético, induzindo uma tensão. O valor da tensão produzida pelo movimento entre um campo magnético e os condutores depende de duas coisas: a velocidade com a qual os condutores se deslocam através das linhas do campo magnético e o número de condutores.

Os geradores elétricos e os transformadores operam sob o princípio da lei de Faraday. A energia elétrica gerada, para o uso em casa e indústria, é produzida deslocando condutores de grandes dimensões através de campos magnéticos. Os transformadores, que serão discutidos mais adiante neste capítulo, operam pelo movimento de campos magnéticos.

O que é a Lei de Lenz?

A lei de Lenz está relacionada com as tensões geradas por condutores que se deslocam em campos magnéticos. (Conforme indicado anteriormente, não importa se você deslocar o condutor ou o campo magnético para produzir a tensão.)

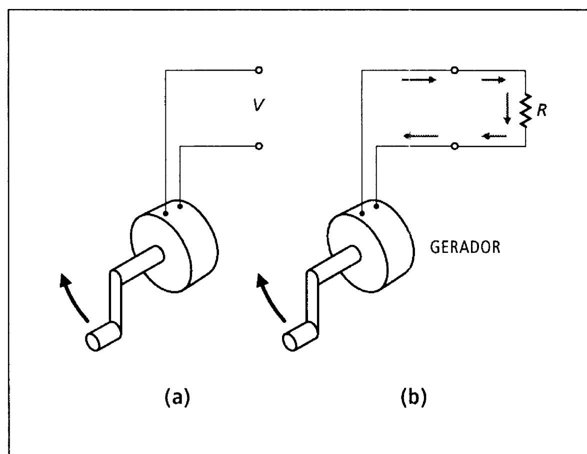


Fig. 4-4: Uma demonstração simples da lei de Lenz: (**a**) a manivela gira facilmente na ausência da corrente do gerador; (**b**) quando a corrente do gerador flui, é mais difícil girar a manivela.

A lei indica que a tensão gerada produz uma corrente com campo magnético que se opõe ao movimento. A Figura 4-4 mostra uma experiência simples que demonstra a lei de Lenz. Na Figura 4-4a, a manivela de um gerador manual é girada; isto produz uma tensão da saída *V* sobre os terminais do gerador. A única oposição à rotação da manivela é o atrito das partes giratórias dentro do gerador.

Na Figura 4-4b foi colocado um resistor sobre os terminais do gerador; a tensão gerada provoca um fluxo de corrente no circuito. Esta corrente deve fluir nas bobinas do gerador; de acordo com a lei de Lenz, a corrente nas bobinas do gerador produz um campo magnético que se opõe ao movimento do gerador. Se você estiver girando a manivela do gerador, irá notar que se torna mais difícil girar a manivela quando o resistor de carga for ligado em seus terminais. Isto demonstra que a corrente induzida produz um campo magnético que se opõe ao movimento.

RESUMO

1. Quando existe um fluxo de corrente de elétrons, existe *sempre* um campo magnético.
2. A direção do campo magnético em volta de uma corrente de elétrons pode ser determinada pela regra da mão esquerda.
3. A força ou a intensidade do campo magnético depende da intensidade da corrente.
4. A lei de indução eletromagnética de Faraday afirma que, toda vez que houver um movimento entre um condutor e um campo magnético, existe uma tensão induzida.
5. A Lei de Lenz afirma que uma tensão induzida irá produzir uma corrente que tem um campo magnético que irá opor-se ao movimento que o produziu.

O que são Transformadores?

A Figura 4-5 mostra a estrutura de um transformador. Na Figura 4-5a, uma tensão alternada é aplicada a uma bobina chamada *primário*. Uma vez que a corrente alternada estiver fluindo na bobina, haverá um campo magnético variável em volta da bobina. Outra bobina localizada perto do "primário" é chamada *secundário*.

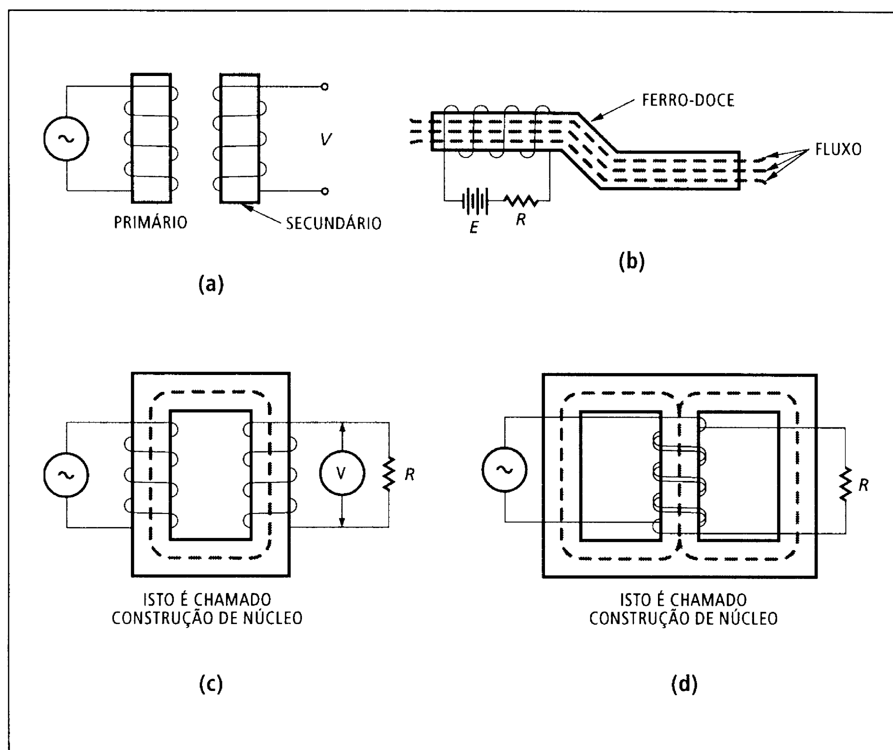


Fig. 4-5: O transformador: **(a)** um transformador simples: **(b)** as linhas de fluxo seguem o caminho do ferro; **(c)** um transformador com núcleo de ferro; **(d)** outra maneira de obter um transformador com núcleo de ferro.

O secundário localiza-se numa posição tal que o fluxo variável desloca-se sobre ela; portanto, a corrente e o fluxo variáveis no primário provocam uma indução de voltagem no secundário; este é o princípio de operação de todos os transformadores. Os enrolamentos do primário e do secundário podem ser enrolados sobre *ferro doce*. O ferro doce não pode ser magnetizado permanentemente, pois oferece pequena oposição ao fluxo; isto significa que o fluxo pode fluir mais facilmente através do ferro doce do que através do ar.

O uso de um núcleo de ferro doce assegura que a maior parte das linhas de fluxo do primário irá cortar as espiras do secundário. Isto é muito importante: se houver linhas de fluxo em volta do primário que não irão cortar espiras do secundário, a quantidade de energia transmitida ao circuito secundário é reduzida.

Em resumo – o núcleo de ferro doce proporciona um caminho fácil entre o primário e o secundário para as linhas de fluxo. Isto assegura que a maior parte das linhas de fluxo irá cortar as espiras do secundário. Antes de continuar com a discussão sobre transformadores, será útil lembrar o conceito de *relutância*. A relutância é a oposição ao fluxo magnético, da mesma forma que a resistência é a oposição ao fluxo de corrente. Os materiais de ferro doce possuem uma relutância muito baixa, em comparação com o ar. Isto significa dizer que as linhas de fluxo magnético irão fluir através do ferro doce mais facilmente do que através do ar. A ilustração da Figura 4-5b mostra que, apesar de o ferro ter uma forma irregular, as linhas de fluxo seguem o caminho do ferro porque sua relutância é menor que a relutância do ar.

A Figura 4-5c mostra que os enrolamentos do primário e secundário de um transformador são enrolados sobre um núcleo de ferro. A corrente variável no primário estabelece um fluxo variável no ferro. O fluxo segue o caminho indicado por uma linha pontilhada. Estas linhas de fluxo passam através de um enrolamento secundário, de modo a induzir uma tensão no mesmo.

A Figura 4-5d mostra uma maneira diferente de enrolamento das bobinas do primário e do secundário sobre o núcleo de ferro de um transformador. Neste caso, tanto o primário como o secundário estão enrolados na perna central do núcleo do transformador.

Vários símbolos para transformadores em circuitos elétricos e eletrônicos são indicados no Anexo B.

O que é um Autotransformador?

A Figura 4-6 mostra como é feito um *autotransformador.* Ele é formado por um enrolamento que possui uma derivação em algum ponto (veja Figura 4-6a).

Vamos supor que uma tensão alternada seja aplicada sobre os terminais *a* e *d*. Uma corrente alternada irá fluir na posição inferior do enrolamento. A corrente alternada estabelece um fluxo que passa sobre o enrolamento completo do secundário, produzindo uma tensão de saída sobre os terminais *c* e *d*.

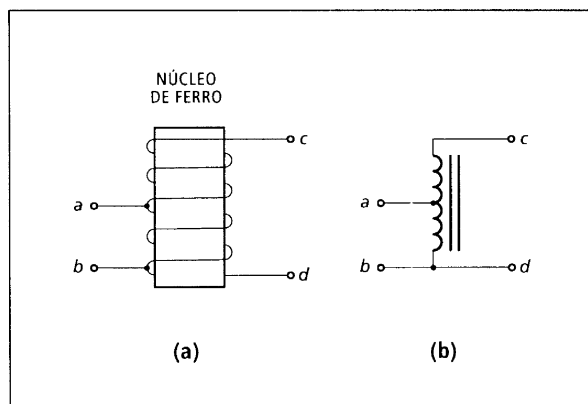


Fig. 4-6: O autotransformador: (**a**) como é feito um autotransformador; (**b**) símbolo esquemático.

É também possível aplicar uma tensão nos terminais *c* e *d* e retirar a tensão de saída dos terminais *a* e *b*. Em ambos os casos, um autotransformador sempre possui um terminal que é comum aos enrolamentos de entrada primário e de saída secundário. A Figura 4-6 mostra o símbolo esquemático para um autotransformador.

Alguns tipos de perdas em Transformadores

A energia no circuito secundário nunca pode ser igual à energia do primário. Isto resulta do fato de que existem sempre perdas num transformador. Em outras palavras, a potência de saída é sempre igual à de entrada, menos as perdas do transformador. O enrolamento das bobinas funcionando sobre ferro melhora grandemente a eficiência em baixas freqüências, porém existem problemas causados pelo núcleo de ferro.

O que é uma Corrente Parasita?

O ferro não conduz eletricidade tão bem como o cobre. A lei de Faraday diz que, toda vez que houver movimento entre um condutor e um campo magnético, uma tensão é induzida. Quando a corrente alternada flui nos enrolamentos primário e secundário, existe um campo móvel em volta das bobinas. O fluxo variável dessas correntes corta o núcleo de ferro; isto induz correntes no núcleo. Estas correntes são chamadas *correntes parasitas.* São ilustradas na Figura 4-7.

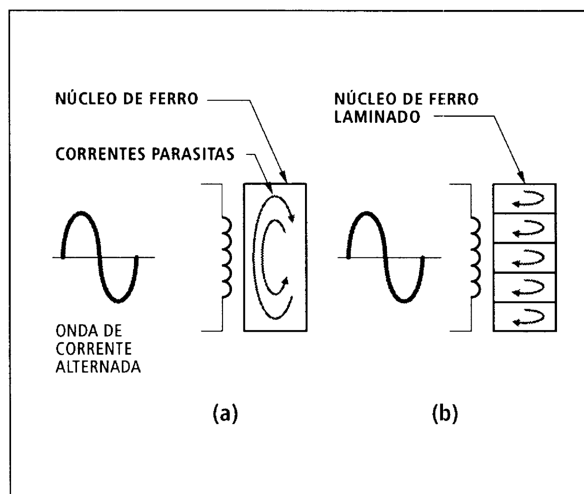


Fig. 4-7: As correntes parasitas causam perdas de núcleo num transformador: (**a**) uma corrente alternada na bobina causa correntes parasitas no ferro; (**b**) ferro laminado reduz as perdas por correntes parasitas.

A Figura 4-7a mostra uma onda de corrente alternada aplicada a uma bobina e as correntes parasitas fluindo num núcleo de ferro. Estas correntes parasitas provocam o aquecimento do ferro e este calor representa uma perda de energia. Para reduzir as correntes parasitas, o núcleo de ferro é formado por camadas de chapa fina de aço, chamadas *lâminas*, conforme indicado na Figura 4-7b. O caminho para o fluxo de corrente é reduzido. Como você sabe, a resistência de qualquer condutor aumenta quando a seção diminui; portanto, usando lâminas de ferro, reduz-se a seção transversal e aumenta-se a resistência ao fluxo de correntes parasitas.

Se você desmontar um transformador, verá que as lâminas são isoladas umas das outras; o isolamento não tem efeito sobre o caminho magnético, porém aumenta a resistência ao fluxo de correntes parasitas.

O que significa o termo Perdas por Histerese?

As *perdas por histerese* ocorrem num transformador porque o núcleo de ferro torna-se magnetizado durante cada meio ciclo da corrente. Este magnetismo deve ser removido antes de o fluxo ter atingido a segunda metade do ciclo.

A Figura 4-8 mostra como o magnetismo no núcleo muda quando a corrente alternada flui no enrolamento primário. A Figura 4-8 mostra que, quando o primeiro meio ciclo de corrente atingir seu valor máximo, o magnetismo atingirá também seu valor máximo. A *força magnetizante* é, de fato, o campo magnético da corrente no enrolamento primário. O primeiro meio ciclo é completado na Figura 4-8. Durante esse período, as correntes dessa bobina caem para 0, porém o magnetismo no ferro não cai para 0. A quantidade de magnetismo que permanece no ferro é marcada na curva com *a*. O magnetismo remanescente no núcleo é chamado *remanência*. Será melhor se o magnetismo cair para 0 quando a corrente na bobina cair para 0. A Figura 4-8c mostra que a corrente na bobina primária deve fluir na direção inversa, durante certo período, para reduzir o fluxo magnético para 0. Isto significa que parte da onda de corrente deve ser usada para desmagnetizar o ferro. Esta corrente provoca uma força magnetizante marcada com um *B* na ilustração. A força magnetizante necessária para remover o magnetismo é chamada *força coerciva*. A Figura 4-8d mostra que o fluxo atinge o valor máximo quando a corrente está no máximo e a Figura 4-8e mostra a curva característica para vários ciclos de uma entrada alternada de corrente. A curva da Figura 4-8e é chamada *curva de histerese*. A amplitude do espaço aberto dentro da curva irá indicar quanta perda por histerese o transformador tem.

As curvas da Figura 4-9 mostram que materiais diferentes possuem perdas diferentes por histerese. A única maneira de manter esse tipo de perda em um valor baixo é tendo o máximo cuidado na escolha do tipo do material do núcleo. Você não terá qualquer controle sobre isso, de modo que deverá confiar no fabricante. A Figura 4-9a é a curva de histerese para o ar. Note que é uma linha reta, não existe força coerciva, não existe remanência. Portanto, não há perda por histerese num transformador com núcleo de ar. A Figura 4-9b mostra a curva de histerese para um núcleo de ferro com material de boa qualidade. A curva geralmente é aberta, de modo que existe uma pequena quantidade de perda por histerese. Isto não pode ser evitado, mesmo os melhores materiais para o núcleo têm uma pequena quantidade de perda por histerese.

A Figura 4-9c mostra uma curva de histerese de forma quadrada; é um

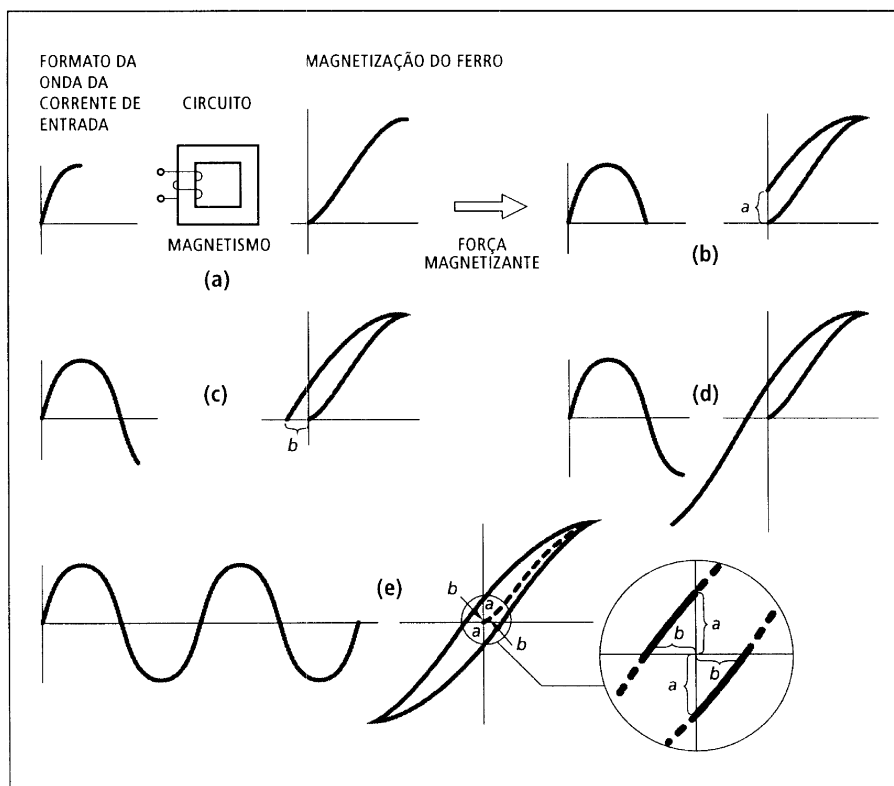


Fig. 4-8: Geração de uma curva de histerese: (**a**) o núcleo de ferro é magnetizado durante a primeira alternância de corrente; (**b**) quando a corrente cai para zero, existe ainda algum magnetismo no núcleo; (**c**) a corrente deve fluir no sentido oposto para reduzir o magnetismo a zero; (**d**) quando a corrente atinge seu valor máximo, o magnetismo também é máximo; (**e**) curva de histerese para um ciclo completo de corrente.

tipo de curva de histerese que você irá obter se usar um ímã permanente no núcleo do transformador. Note que a quantidade de remanência e de força coerciva é muito grande em comparação com o material das Figuras 4-9a e 4-9b. Você não vai querer usar um material de magnetismo permanente para o núcleo do transformador. A grande área dentro das curvas significa uma grande perda por histerese.

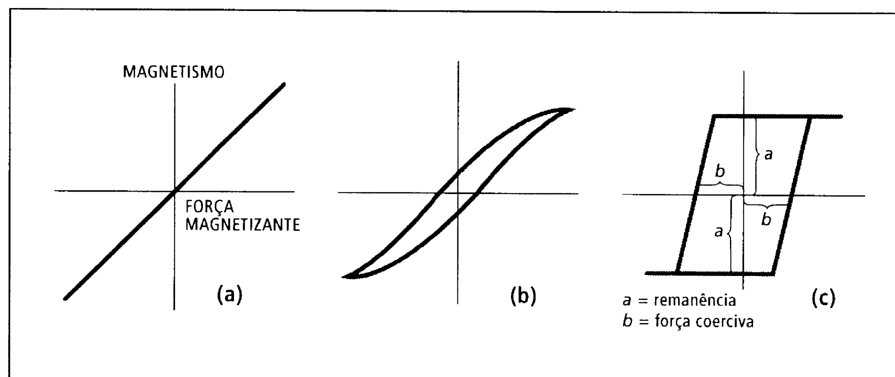


Fig.4-9: Comparação da perda por histerese para três tipos de materiais; (**a**) ar; (**b**) bom núcleo de ferro de um transformador; (**c**) núcleo do tipo ímã permanente.

O que são as Perdas de Cobre de um Transformador?

Os condutores usados para os enrolamentos primário e secundário de um transformador possuem certa resistência. As correntes que fluem nesses condutores produzem perda por calor. Nos transformadores é chamada *perda de cobre.* Esta perda pode ser reduzida usando-se condutores com diâmetros maiores.

RESUMO

1. Um transformador é um componente usado para passar energia em corrente alternada de um ponto para outro.
2. Enrolando o primário e o secundário de um transformador sobre um núcleo de ferro, aumenta grandemente sua eficiência em baixas freqüências.
3. Um autotransformador consiste de uma única bobina de fio com uma derivação. Uma extremidade da bobina é comum tanto ao primário como ao secundário.
4. As correntes parasitas induzidas no núcleo dos transformadores causam uma perda de potência em forma de calor. As correntes parasitas são reduzidas laminando o núcleo de ferro.
5. A perda por histerese ocorre no núcleo de ferro de um transformador porque é preciso usar energia para remover o magnetismo durante cada meio ciclo de corrente primária. Esta perda por histerese é reduzida usando o tipo correto de metal.

Quais são os usos dos Transformadores em Circuitos Eletrônicos?

Os transformadores podem ser pesados, grandes e caros. Porém, existem alguns casos em que realizam o melhor serviço. É muito útil para você saber por que são usados transformadores em circuitos eletrônicos.

Transformadores irão passar tensões em Corrente Contínua?

Para uma tensão ser induzida no secundário do transformador é necessário que o fluxo no primário esteja se expandindo e contraindo. Se você aplicar uma tensão contínua ao primário de um transformador, a corrente e o campo magnético irão aumentar até certo valor e permanecer aí. Enquanto uma corrente contínua constante fluir no primário, não há qualquer indução de tensão no secundário. Isto torna os transformadores úteis para separar tensões contínuas e tensões alternadas.

A Figura 4-10 mostra como isso é realizado. Existem duas tensões sobre o enrolamento primário. Uma alternada e uma contínua, fornecida pela bateria *E*. Ambas são aplicadas ao enrolamento primário ao mesmo tempo. A forma da onda ilustrada indica que a corrente primária está variando, mas não atinge o valor zero. A corrente variável faz com que o fluxo do primário se expanda e contraia cortando as espiras do secundário.

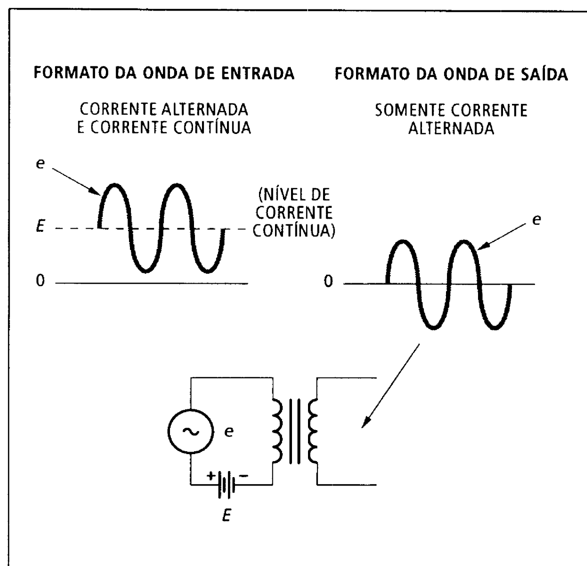


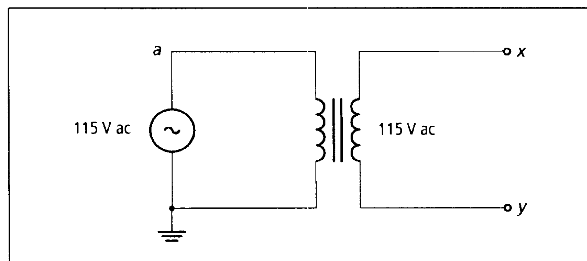
Fig. 4-10: Um transformador irá deixar passar uma tensão alternada, mas não irá deixar passar uma tensão contínua.

A tensão secundária é causada apenas pelas expansão e contração do fluxo e não está de qualquer forma relacionada com o fluxo contínuo da corrente da bateria. Desta forma, com as tensões contínua e alternada aplicadas no primário, a tensão secundária é apenas alternada.

O que é um Transformador de Isolamento?

Os transformadores às vezes são usados por razões de segurança. Isto pode ser entendido com a ajuda da Figura 4-11. O primário do transformador é ligado a um gerador de corrente alternada que possui um terminal aterrado. Você irá entender que a energia fornecida para sua casa e para a indústria possui uma linha que está no potencial de "terra".

Fig. 4-11: Um transformador de isolamento.



Esse é um circuito típico. Se você estiver em pé sobre a terra, ou tocando uma ligação "terra" e ao mesmo tempo tocar com a outra mão no circuito, haverá uma queda de tensão de 115 volts sobre seu corpo e isto pode ser fatal. No secundário do transformador de isolamento, nenhum dos terminais *x* e *y* é aterrado. Se você ficar em pé sobre um ponto "terra" e, acidentalmente, tocar o ponto *x*, o ponto *x* irá ser aterrado através do seu corpo, mas você não receberá choque algum. Da mesma forma se você tocar o ponto *y*, o ponto *y* tornar-se-á aterrado, mas você não receberá choque algum. Evidentemente, se você tocar ambos os terminais *x* e *y* ao mesmo tempo, poderá receber um choque fatal.

O que é um Transformador Elevador?

O valor da tensão sobre o secundário de um transformador depende do número de voltas de fio no enrolamento secundário. Se houver um maior número de voltas de fio no secundário do que no primário, a tensão no secundário será maior do que a tensão no primário. O símbolo para um transformador elevador está indicado na Figura 4-12.

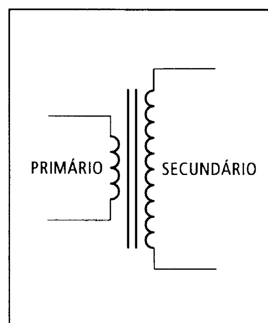


Fig. 4-12: Um transformador elevador tem mais espiras de fio no secundário do que no primário.

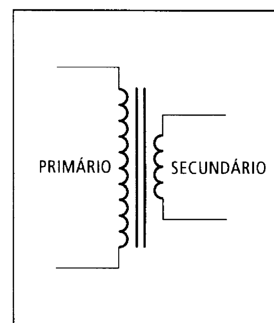


Fig. 4-13: Um transformador abaixador tem mais espiras de fio no primário do que no secundário.

Matematicamente, a tensão secundária é calculada da seguinte forma

$$E_2 = \frac{N_2}{N_1} \times E_1,$$

em que, E_2 = tensão secundária
N_2 = número de voltas do secundário
N_1 = número de voltas do primário
E_1 = tensão primária.

Nessa equação, o número de voltas do secundário dividido pelo número de voltas do primário é chamado relação de transformação do secundário para o primário.

A relação de transformação do secundário para o primário é igual a

$$\frac{N_2}{N_1}$$

Vemos, por exemplo, que são aplicados 115 volts no primário de um transformador que possui uma relação de transformação N_1/N_2 de 6 X 1; em outras palavras, o enrolamento secundário possui 6 vezes mais voltas do que o primário. A tensão secundária será então

$$E_2 = \frac{N_2}{N_1} \times E_1$$

$$= \frac{6}{1} \times 115$$

$$E_2 = \mathbf{690\ volts.}$$

À primeira vista, parece que você está obtendo alguma coisa do nada, usando um transformador elevador. Porém, se a tensão secundária é maior do que a do primário, a corrente do secundário deve ser menor do que a do primário; em outras palavras, quando a tensão é elevada a corrente é rebaixada. A relação entre a relação de transformação e a corrente do primário e do secundário pode ser expressa pela equação

$$I_2 = \frac{N_2}{N_1} \times I_1$$

em que, I_2 = corrente do secundário
N_2 = número de voltas do secundário
N_1 = número de voltas do primário
I_1 = corrente do primário.

O que é um Transformador Abaixador?

Os transformadores são também usados para abaixar a tensão. Se o enrolamento possui a metade das voltas do primário, a tensão do secundário será a metade da tensão do primário. As mesmas equações para tensão e corrente e relação de transformação são aplicadas. Rebaixar a tensão permite elevar a corrente do secundário.

Em regra geral, os transformadores abaixadores podem fornecer uma corrente secundária maior, porém abaixam a tensão do secundário. Os símbolos para transformadores elevadores e abaixadores indicados nas Figuras 4-12 e 4-13 são típicos. Você nunca deve tentar determinar a relação de transformação de um transformador contando o número de voltas do símbolo. São apenas símbolos.

A relação atual de transformação pode ser fornecida pelo fabricante ou pode ser indicada no diagrama esquemático do equipamento. Lembre-se de que, se as tensões do primário e do secundário forem conhecidas, a relação de transformação também é conhecida, uma vez que a relação de transformação é a mesma que a relação entre as tensões.

Qual é o desempenho dos Transformadores como Componentes de Combinação de Impedâncias?

Em circuitos de corrente alternada, a oposição ao fluxo de corrente é chamada *impedância* Z. Em circuitos de corrente contínua, a oposição ao fluxo de corrente é chamada *resistência.* Tanto a impedância como a resistência são medidas em ohms. Uma aplicação importante do transformador é a de combinar a impedância de um gerador ou dispositivo eletrônico com determinada carga. A idéia de combinação de impedâncias é baseada no *teorema de transferência máxima de potência* ilustrado na Figura 4-14. No circuito da Figura 4-14a uma bateria E com resistência interna R_i é ligada a uma carga resistiva variável R_L. Conforme a carga resistiva aumenta, a partir de 0 ohms, a quantidade de energia fornecida para a carga resistiva aumenta um ponto e, em seguida, começa a diminuir; isto está indicado na Figura 4-14b. A maior potência possível de ser fornecida para a carga *sempre* ocorre quando a resistência da carga é igual à resistência interna da bateria.

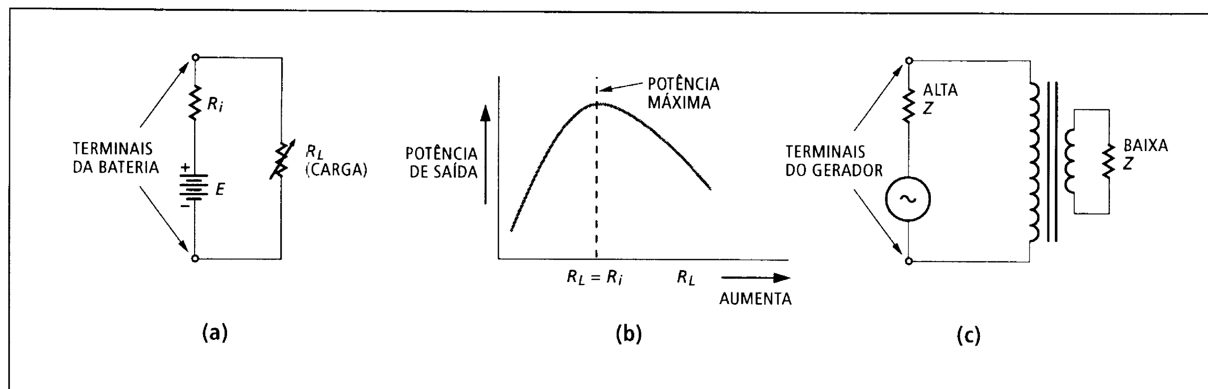
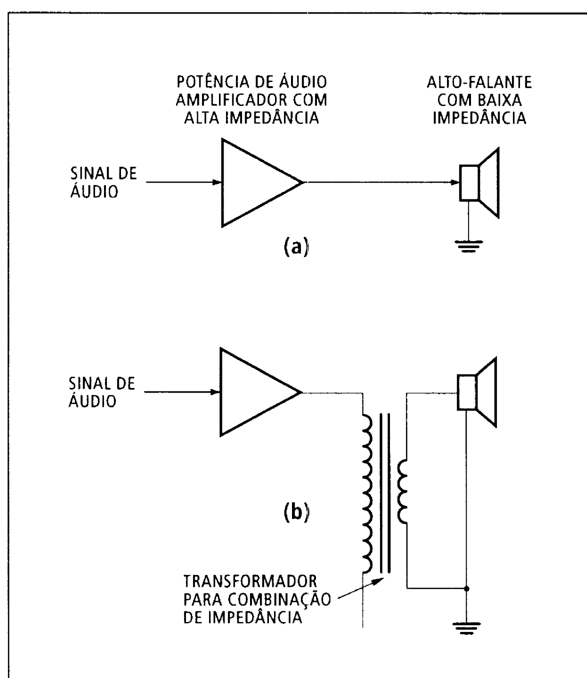


Fig. 4-14: Transformadores podem ser usados para combinar impedâncias: (**a**) um circuito simples para demonstrar o teorema de máxima transferência de potência; (**b**) curva característica para o circuito em (a); (**c**) transformador usado para combinação de impedância.

Uma bateria é usada nesse exemplo, porém pode ser usado também um gerador de corrente alternada.

Para ligar um gerador de corrente alternada a uma carga que possui uma impedância diferente da impedância interna do gerador é necessário um dispositivo de combinação de impedâncias. Os transformadores podem ser usados com essa finalidade. Conforme indicado na Figura 4-14c, uma impedância interna alta num gerador de corrente alternada pode ser usada para fornecer potência máxima a uma carga de baixa impedância, ligando o transformador correto entre os dois. Um transformador poderia ser usado também para combinar uma baixa impedância do gerador a uma alta impedância de carga.



Em circuitos eletrônicos, o transformador pode ser usado para combinar a impedância de um amplificador a um alto-falante. Isto está indicado na Figura 4-15. O amplificador é considerado o gerador de potência de áudio e supõe-se fornecer a máxima potência possível ao alto-falante. Quando os dois forem ligados diretamente, conforme indicado na Figura 4-15a, o alto-falante não receberá a potência máxima. Na Figura 4-15b o transformador serve para combinar o amplificador e a carga de modo a fornecer a potência máxima. Existem muitas aplicações em eletrônica em que a combinação de impedâncias é realizada através de um transformador.

Como um Transformador é usado para a seleção de Freqüências?

Em alguns circuitos é desejável passar uma freqüência ou gama de freqüências de um ponto para outro e rejeitar todas as outras freqüências. Os transformadores são componentes ideais para essa finalidade, porque o primário e o secundário dos transformadores são indutâncias. Essas indutâncias podem ser sintonizadas com capacitores.

Fig. 4-15: Um transformador pode ser usado para combinar impedâncias de um amplificador e de um alto-falante: (**a**) as impedâncias do amplificador e do alto-falante não são combinadas; (**b**) o transformador combina as impedâncias.

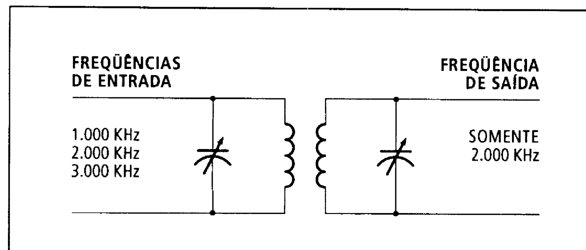


Fig. 4-16: Um transformador sintonizado.

A Figura 4-16 mostra o primário básico. Neste transformador existem 3 freqüências no primário: 1.000 kHz, 2.000 kHz e 3.000 kHz. Vamos supor que se deseja passar apenas o sinal de 2.000 kHz para a próxima fase. Tanto o primário como o secundário do transformador são sintonizados para essa freqüência. Todas as freqüências que não sejam de 2.000 kHz são rejeitadas, isto é, não são acopladas dentro do circuito secundário.

Existem variações dos circuitos de transformadores sintonizados. Em algumas aplicações, somente o primário ou o secundário são sintonizados. Às vezes os capacitores são fixos em vez de serem variáveis e as indutâncias do primário ou do secundário são variáveis. A indutância geralmente é alterada pelo deslocamento de um núcleo de ferro em pó ou ferrite para dentro ou para fora das espiras do transformador.

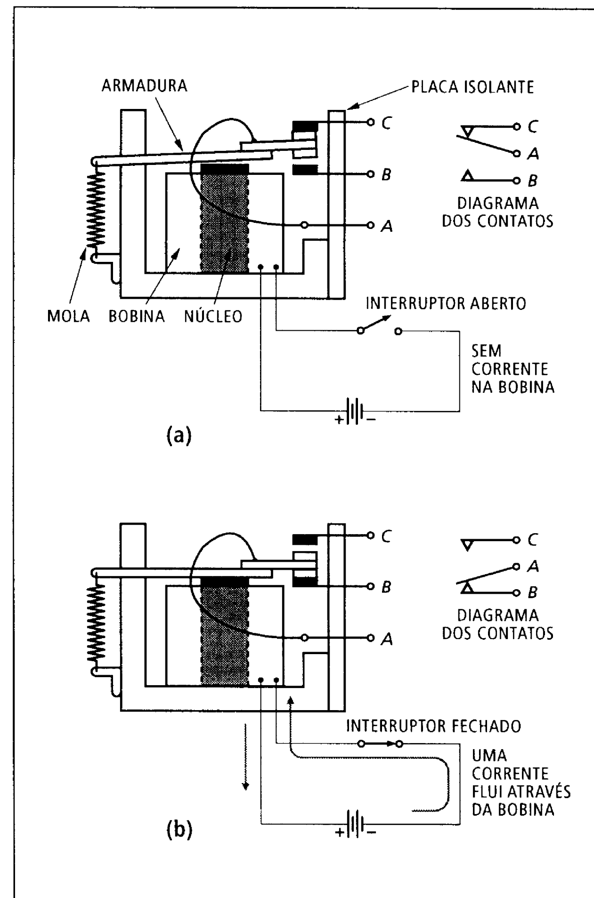
RESUMO

1. Um transformador irá deixar passar uma tensão alternada do primário para o secundário, porém não irá deixar passar uma tensão contínua.
2. Um transformador de isolamento é usado para proteger operadores e técnicos de um choque elétrico fatal.
3. Um transformador pode ser usado para elevar ou abaixar a tensão. Quando a voltagem é elevada, a corrente do secundário é abaixada. Quando a tensão é abaixada, a corrente do secundário é elevada.
4. Os transformadores são usados para combinar a impedância da carga com a do gerador; isto resulta na transferência máxima de potência.
5. Um transformador pode ser sintonizado de modo a deixar passar apenas uma freqüência ou uma gama de freqüências e rejeitar todas as outras.

Como funciona o Relé?

O relé é uma chave operada eletricamente. A Figura 4-17 mostra como funciona um *relé simples de batente.* A Figura 4-17a mostra que o relé do tipo batente possui uma bobina enrolada sobre um núcleo de aço-doce magnético. Quando a corrente flui na bobina, o núcleo torna-se imantado e atrai a *armadura.* A armadura desloca os contatos elétricos ligando-os. Os contatos estão localizados numa placa isolada. Quando a corrente não flui na bobina, uma mola volta à armadura para a posição desenergizada, indicada na Figura 4-17a. Os símbolos dos contatos do relé são também indicados na Figura 4-17a. Note que, quando o relé não for energizado, há contato entre *A* e *C* e não há contato entre *A* e *B*. O relé é energizado fechando o interruptor; isto está indicado na Figura 4-17b.

Fig. 4-17: Um relé simples tipo batente: (**a**) na posição desenergizada; (**b**) na posição energizada.



A corrente flui na bobina e magnetiza o núcleo. O núcleo magnetizado atrai a armadura, a armadura desloca os contatos e o diagrama mostra que há contato elétrico entre os terminais *A* e *B*. Neste momento, não há contato entre os terminais *A* e *C*. Os contatos *A* e *C* são chamados *normalmente fechados* porque na posição normal desenergizada do relé eles fazem contato. Os terminais *A* e *B* são chamados *normalmente abertos*, porque quando o relé está na posição desenergizada não existe contato entre eles. Você pode pensar que nada é realizado usando o relé. Você poderia simplesmente ter ligado os terminais *A*, *B* e *C* diretamente em vez de usar uma chave para controlar um relé. Porém, existem várias vantagens com o sistema de relés. Uma delas é que a corrente da bobina do relé pode ser bastante pequena, de modo que uma chave pequena possa ser usada no circuito da bobina. Porém, os contatos do relé podem ser ligados em circuitos de alta corrente ou alta tensão que requerem grandes contatos de ligação. Assim, usando um relé você pode operar uma chave pequena e fechar um circuito de alta potência.

Existe outro uso importante dos relés. São muitas vezes usados para controle remoto; ademais, o circuito sendo ligado e desligado através dos terminais *A*, *B* e *C*, os mesmos podem estar localizados a uma grande distância de onde você quer fazer a ligação.

O relé do tipo batente da Figura 4-17 é usado quando uma pequena quantidade de energia na bobina pode ligar e desligar circuitos com altas tensões e correntes. A Figura 4-18 mostra alguns tipos adicionais de relés que você pode encontrar em circuitos industriais.

Como reconhecer um Circuito com Relé?

O relé de telefone da Figura 4-18a é usado quando se deseja ligar um grande número de circuitos ao mesmo tempo. O relé com travamento mecânico da Figura 4-18b liga quando a bobina for energizada e permanece na posição ligada mesmo quando a corrente da bobina for removida. É necessário religar esse relé manualmente para a operação seguinte. A chave múltipla da Figura 4-18c é usada em aplicações em que certo número de circuitos com relés deve ser ligado em seqüência. Isto é, um depois do outro. O *relé diferencial* da Figura 4-18d pode sentir a diferença entre duas tensões ou a diferença entre duas correntes. Quando a tensão ou a corrente em dois circuitos é a mesma, as correntes da bobina são iguais e fluem em direções opostas.

O fluxo magnético das duas bobinas se anula. Sob essa condição, o relé não está energizado, porém, se a corrente de uma das bobinas tornar-se muito maior do que a outra, seu fluxo magnético torna-se suficientemente forte para vencer o fluxo mais fraco e o relé torna-se energizado. Assim, o relé é usado para determinar quando existe uma diferença nos valores da tensão ou da corrente.

O relé térmico da Figura 4-18e é usado em aplicações quando uma elevação da temperatura deve ser sentida. Vamos, por exemplo, supor que um motor começa a ficar superaquecido. É desejável desligar o motor antes de o mesmo ser destruído. O relé térmico é instalado na carcaça do motor. Quando a temperatura aumentar acima de certo valor, o relé desliga o motor.

O relé de ponteiro da Figura 4-18f usa o movimento de um ponteiro. Este ponteiro pode ser ligado a um voltímetro ou amperímetro; enquanto a tensão ou a corrente estiverem dentro dos limites definidos não haverá contato. Porém, se a tensão ou a corrente elevar-se além ou abaixar aquém do limite, ocorre o contato. Este contato pode ser usado para controlar a operação de uma máquina ou desligar circuitos com sobrecarga.

Para reconhecer o tipo de um relé você deve lembrar-se de que existem duas seções a serem verificadas. Em *primeiro* lugar existe a bobina do relé. Esta bobina deve ter corrente fluindo quando o relé for energizado. Em *segundo* lugar, existem os contatos do relé que se abrem ou fecham dependendo se o relé está energizado ou desenergizado. A bobina pode ser energizada com um circuito simples como aquele indicado na Figura 4-17 e em outros circuitos a bobina pode ser energizada pela corrente de uma válvula eletrônica ou transistores.

Quais são os tipos de símbolos usados para Relés?

O circuito de contato por relé pode ser desenhado de duas formas. Exemplos são indicados na Figura 4-19. Os símbolos ANSI são um pouco mais fáceis de serem lidos, porém são muito mais difíceis de desenhar em esquemas grandes. Por essa razão, os símbolos industriais tornaram-se mais populares.

Os fabricantes de relés identificam os diferentes arranjos de contatos que se chamam *empilhamentos* como sendo formas tais como: *A*, *B*, *C*, etc.

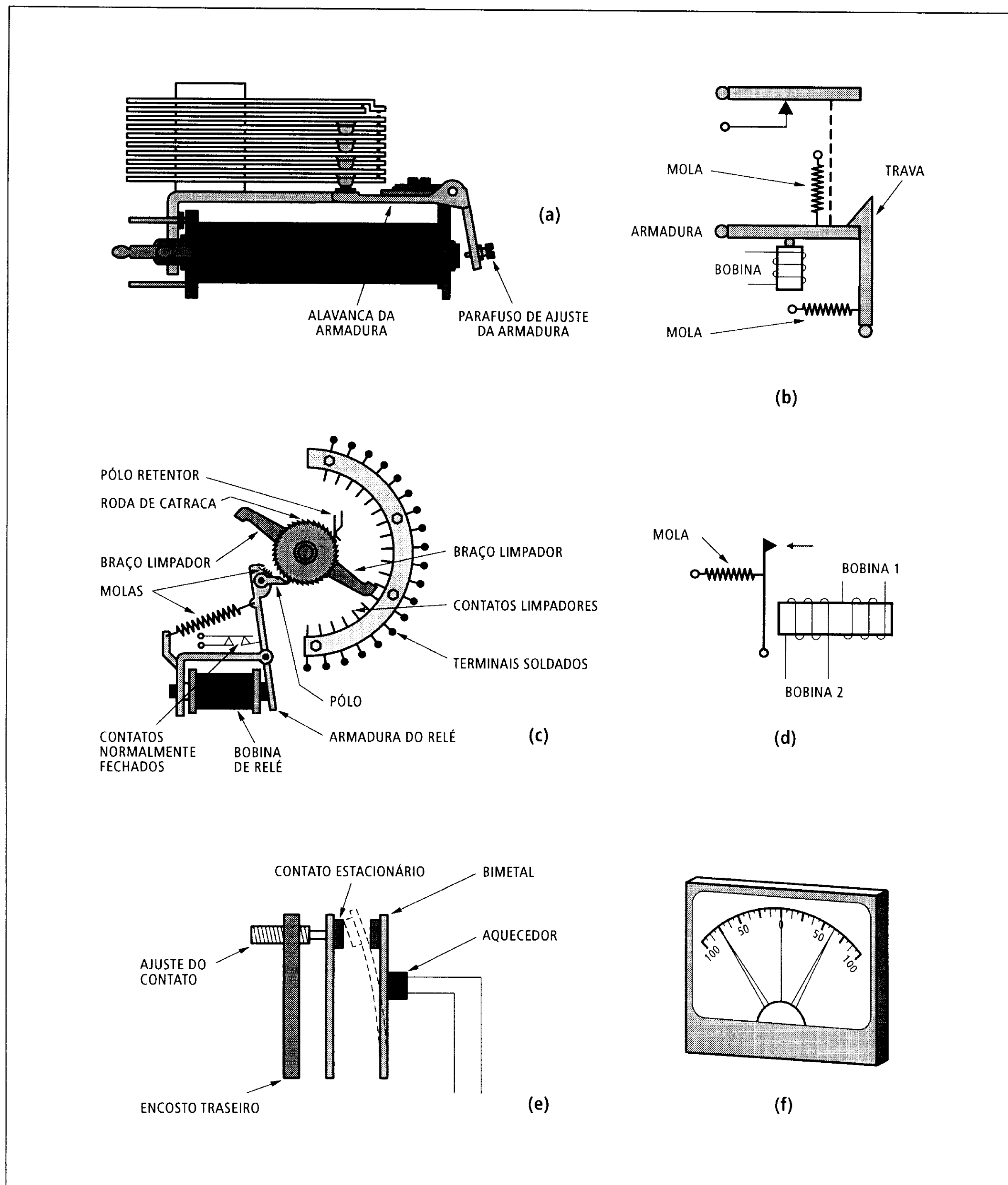


Fig. 4-18: Alguns dos tipos mais populares de relés: (**a**) tipo para telefone; (**b**) relé com travamento mecânico; (**c**) chave passo-a-passo; (**d**) relé diferencial; (**e**) relé térmico; (**f**) relé medidor.

Símbolos das formas mais populares são indicados na Figura 4-19. A forma *A* é o relé unipolar simples. O símbolo ANSI mostra os contatos abertos ou em sua posição normal desenergizada. A seta no símbolo ANSI indica a direção para a qual a armadura e o contato móvel irão quando a bobina for energizada; em outras palavras, se a bobina for energizada, a armadura irá empurrar o contato móvel para fazer a ligação.

CONTATOS PARA RELÉS			
SÍMBOLO ANSI	**SÍMBOLO INDUSTRIAL**	**TIPO**	**FORMA**
		UNIPOLAR SIMPLES EFEITO NORMALMENTE ABERTO	A
		UNIPOLAR SIMPLES EFEITO NORMALMENTE FECHADO	B
		TRANSFERÊNCIA (TAMBÉM CHAMADO LIGA-DESLIGA)	C
	CT	LIGA ANTES DE DESLIGAR (TAMBÉM CHAMADO CONTINUADA DE TRANSFERÊNCIA)	D
		FECHAMENTO COM SEQÜÊNCIA DE TEMPO	F
ANSI - American National Standards Institute			

Fig. 4-19: Exemplos de formas de relés. Os contatos dos relés são indicados em sua condição normal (desenergizada).

A maneira de desenhar a forma *A* não é tão fácil para entender, porém você deve aprender a identificar símbolos como sendo um relé de contato normalmente aberto. É muito importante distinguir esta forma *A* industrial entre o símbolo de contato (forma industrial) e o símbolo para um capacitor. O símbolo para um capacitor possui uma das duas linhas curvadas. Veja símbolos para capacitores no Anexo B.

Os contatos no relé da forma *B* são normalmente fechados. Energizar a bobina, neste caso, irá abrir o circuito.

O contato de forma *C* possui um jogo de contatos fechados e outro normalmente aberto. Energizar a bobina irá transferir as conexões de um circuito para outro.

O relé de batente ilustrado na Figura 4-17 (pág. 79) possui contatos de forma *C*.

O contato de forma *D* às vezes é chamado *transferência de continuidade*. É projetado de tal forma que, quando o relé for energizado, o contato normalmente aberto irá fechar-se antes que os contatos normalmente fechados abram. Os contatos de forma *F* são de *fechamento em seqüência no tempo*. Conseqüência: existem dois contatos normalmente abertos. O relé foi projetado de forma que, quando a bobina for energizada, um jogo de contatos completa o circuito antes do outro jogo.

Alguns exemplos de Circuitos de Relés

A Figura 4-20 mostra um circuito simples de relé. Os símbolos industriais são usados na Figura 4-20a e os símbolos ANSI são usados na Figura 4-20b.

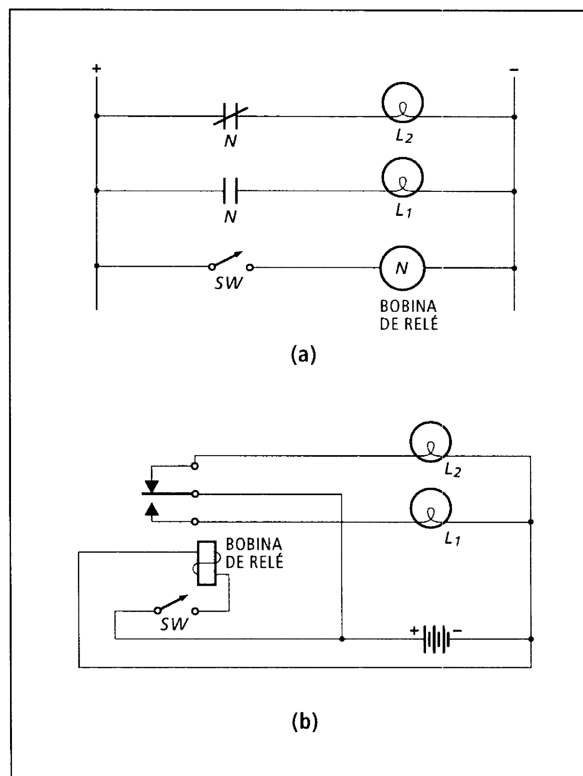


Fig. 4-20: Um circuito simples de relé: (a) o circuito com símbolos industriais; (b) o circuito com símbolos ANSI.

Ambos os circuitos são iguais. A única diferença está no tipo dos símbolos usados. Um relé de corrente alternada trabalha de forma semelhante; porém, os relés são construídos de uma forma um pouco diferente.

O material do núcleo e da armadura dos relés de corrente alternada é laminado para reduzir o problema de perdas por correntes parasitas. Além disso, o material é escolhido para causar perdas mínimas por histerese.

Na Figura 4-20, a bobina do relé *N* está em série com um interruptor *S*. A letra *N* identifica este relé particular. Pode haver até 30 ou 40 relés no sistema e cada bobina de relé será identificada por uma letra diferente ou combinação diferente de letras. Os contatos para cada relé são identificados pela mesma letra, assim cada contato marcado com *N* é operado pela bobina marcada com *N*. Quando o interruptor for fechado, a corrente flui através da bobina do relé e energiza a mesma. Existem dois contatos com esta bobina; ambos são marcados com *N*. O contato em série com a lâmpada L_1 é normalmente aberto; o outro é normalmente fechado e está em série com a lâmpada L_2; note que os dois contatos de relés juntos formam um contato de forma *C*, conforme indicado na Figura 4-19.

Quando a chave *S* está desligada, L_2 está em posição ligada e L_1 não. Fechar o interruptor *S* colocará L_1 em posição LIGA e L_2 em posição DESLIGA. Na Figura 4-20 o relé está posicionado na condição desenergizada. Você deve sempre saber que os relés estão nessa condição quando indicados em desenhos esquemáticos. Note que o circuito para L_2 é completo, porém o circuito para L_1 está aberto. Quando o relé for energizado, o circuito para L_1 será fechado e esta lâmpada será ligada. Ao mesmo tempo, o circuito para L_2 será aberto e esta lâmpada será desligada.

A Figura 4-21 é um simples circuito de relé para partida e parada de um motor de corrente contínua. A Figura 4-21a mostra os símbolos industriais para o circuito de controle do motor. A Figura 4-21b mostra o mesmo circuito usando símbolos ANSI. A bobina do relé, neste caso, está marcada com A. Existem dois interruptores de contato momentâneo manual no circuito; um está marcado LIGA e está normalmente aberto, o outro está marcado DESLIGA, normalmente fechado. Ambos são operados por molas e voltam para as posições indicadas quando liberados.

Para dar partida no motor, aperta-se o botão LIGA; isto fecha o circuito através da chave DESLIGA e através da bobina do relé *A*. O relé está energizado e ambos os contatos marcados com *A* fecham-se. Os contatos do relé em paralelo com o interruptor LIGA, agora fechado, permitem um fluxo de corrente dentro do circuito marcado *a* e *b* através do contato *A* (perto de *a*), através da chave DESLIGA e através da bobina de relé *A*. Diz-se agora que a bobina do relé está eletricamente travada. Mesmo que a chave DESLIGA abra, a corrente não pára de fluir, através da bobina do relé. A razão é que existe um caminho entre *a* e *b* que é o seguinte: através do contato de travamento, através da chave DESLIGA e através da bobina do relé.

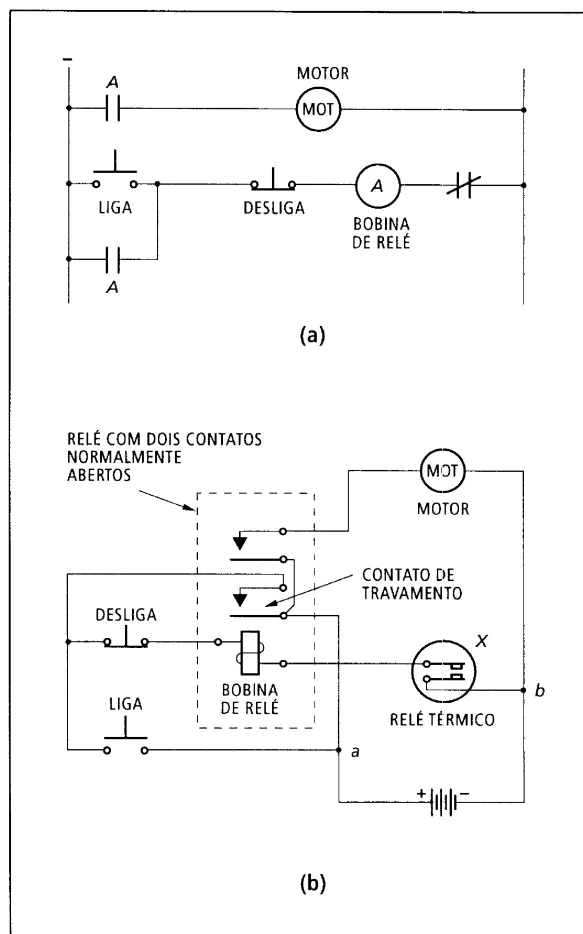


Fig. 4-21: Um circuito para partida e parada de um motor: (a) o circuito com símbolos industriais; (b) o circuito com símbolos ANSI.

Outra coisa acontece quando o relé é energizado. O contato *A* que está em série com o motor é fechado; isto faz o motor funcionar.

O relé térmico normalmente fechado, marcado com *X*, está localizado na carcaça do motor. Se o motor ficar superaquecido, o relé *X* irá abrir e o circuito do motor será aberto.

Para parar o motor, aperta-se o botão DESLIGA; isto abre o circuito da bobina e desenergiza o relé. Uma vez que ambos os jogos de contato marcados com *A* tornem-se abertos, a bobina e os circuitos do motor são abertos.

RESUMO

1. O relé é uma chave operada eletricamente.
2. O relé permite o uso de uma chave pequena para controlar circuitos, com altas tensões ou altas correntes.
3. O relé é dividido em duas seções: a seção da bobina e a seção dos contatos.
4. As configurações de contatos de relés são identificadas como formas. Por exemplo, forma A, forma B e assim por diante.
5. Alguns relés podem ser travados eletricamente.

PERGUNTAS DE REVISÃO PROGRAMADA

(As instruções para usar esta seção de Revisão Programada são fornecidas no Capítulo 1 / pág. 8.)

Aqui iremos rever os conceitos mais importantes deste capítulo. Se você tiver entendido o material deste capítulo, poderá progredir facilmente por meio desta seção. Não pule este material, porque nele apresentamos algumas informações teóricas adicionais.

1 O transformador da Figura 4-22 possui uma relação de transformação de 1:1; isto significa que o número de voltas de fio do primário é igual ao número de voltas de fio no secundário.

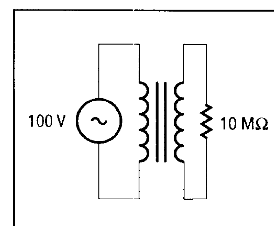


Fig. 4-22: Ilustração para a pergunta 1.

Qual é a corrente que está fluindo no enrolamento do secundário?

A **10 miliampères** (passe para o item 9).

B **10 microampères** (passe para o item 17).

2 *A resposta correta para a pergunta no item 25 é A.*

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{E_1}{E_2}$$

$$= \frac{100}{25}$$

$$= \frac{4}{1}$$

Aqui está a próxima pergunta:

Qual dos componentes indicados a seguir é mais parecido com um interruptor?

A **Um transformador** (passe para o item 14).

B **Um relé** (passe para o item 22).

3 *A resposta correta para a pergunta no item 11 é B. O transformador na Figura 4-24b possui uma ligação direta entre os enrolamentos primário e secundário. É um autotransformador e não pode ser usado como transformador de isolamento.* Aqui está a próxima pergunta:

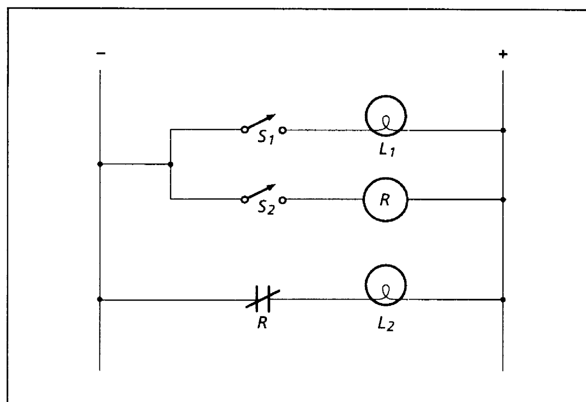


Fig. 4-23: Símbolos para a pergunta do item 3.

No circuito da Figura 4-23 ambas as lâmpadas serão ligadas se

A **S_1 estiver fechado e S_2 estiver fechado** (passe para o item 15)
B **S_1 estiver fechado e S_2 estiver aberto** (passe para o item 20).

4 *A resposta correta para a pergunta no item 22 é A. O campo variável depende do número de condutores e da velocidade com a qual o campo passa sobre os condutores.* Aqui está a próxima pergunta:

Um campo magnético geralmente é representado por linhas de campo que são também chamadas de fluxo. Em qual dos seguintes materiais seria mais fácil obter a passagem de linhas do campo magnético?

A **Ar** (passe para o item 16).
B **Ferro** (passe para o item 19).

5 *Se sua resposta para a pergunta no item 21 é A, está errada. Não é possível elevar a potência no transformador.* Passe para o item 11.

6 *A resposta correta para a pergunta no item 20 é B. O campo magnético que circunda o fluxo de uma corrente possui uma direção perpendicular à corrente.* Aqui está a próxima pergunta:

A direção do campo magnético em volta de uma corrente de elétrons pode ser determinada

A **Pela regra da mão direita** (passe para o item 26).
B **Pela regra da mão esquerda** (passe para o item 13).

7 *A resposta correta para a pergunta no item 17 é A. A lâmina do núcleo não irá afetar a perda por histerese, mas irá reduzir as perdas por correntes parasitas.* Aqui está a próxima pergunta:

Um gerador de corrente alternada com baixa impedância interna pode ser acoplado a uma carga de alta impedância?

A **Sim** (passe para o item 21).
B **Não** (passe para o item 27).

8 *Se sua resposta para a pergunta no item 25 é B, está errada. A relação de transformação é igual à de tensões. Neste caso:*

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{E_1}{E_2}$$

Passe para o item 2.

9 *Se sua resposta para a pergunta no item 1 é A, está errada. A tensão sobre o secundário é igual à sobre o primário, 100 volts. Uma vez que você conhece a tensão de 100 volts sobre o resistor de carga de 10 M , pode usar a lei de Ohm para achar a intensidade da corrente. Calcule a intensidade da corrente e em seguida,* passe para o item 17.

10 *Se sua resposta para a pergunta no item 22 é B, está errada. A pergunta é de qual das alternativas a tensão induzida é independente. A tensão induzida depende do número de condutores cortado pelo campo móvel.* Passe para o item 4.

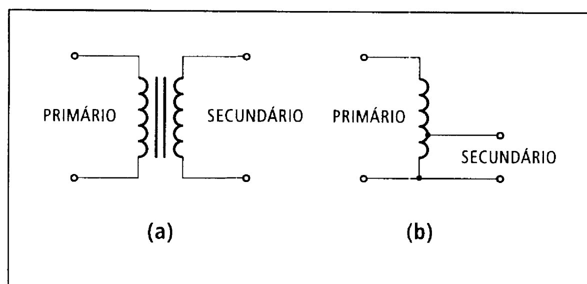


Fig. 4-24: Ilustração para a pergunta do item 11.

11 *A resposta correta para a pergunta no item 21 é B. Um transformador pode ser usado para elevar a corrente reduzindo a tensão.*
Aqui está a próxima pergunta:

Qual dos transformadores da Figura 4-24 não pode ser usado como transformador de isolamento?

A **O transformador da Figura 4-24a** (passe para o item 23).
B **O transformador da Figura 4-24b** (passe para o item 3).

12 *Se sua resposta para a pergunta no item 17 é B, está errada. Laminar o material do núcleo não irá afetar as perdas por histerese.*
Passe para o item 7.

13 *A resposta correta para a pergunta no item 6 é B. A corrente de elétrons flui do negativo para o positivo e a regra da mão esquerda para a direção do campo magnético é aplicável.*
Aqui está a próxima pergunta:

Um contato de relé unipolar, de ação direta, normalmente fechado é chamado:

A **Forma A** (passe para o item 18).
B **Forma B** (passe para o item 25).

14 *Se sua resposta para a pergunta no item 2 é A, está errada. Um transformador transfere energia de um ponto para outro. Porém, não passa o circuito para LIGA ou DESLIGA.*
Passe para o item 22.

15 *Se sua resposta para a pergunta no item 3 é A, está errada. Se S estiver fechado, o relé será energizado. Isto irá fazer com que o contato normalmente fechado em série com L_2 abra e a lâmpada não irá mais estar em LIGA.*
Passe para o item 20.

16 *Se sua resposta para a pergunta no item 4 é A, está errada. É mais difícil obter a passagem de linhas de fluxo através do ar do que através do ferro.* Passe para o item 19.

17 *A resposta correta para a pergunta no item 1 é B. A tensão secundária é igual à do primário, que é de 100 volts. A reatância é de 10 milhões de ohms ou 10^6 ohms. Se usar potências de 10,*

$$I = \frac{E}{R}$$
$$= \frac{100}{10.000.000}$$
$$= 0{,}00001 \text{ ampère}$$
$$= 10 \text{ microampères}$$

Usando potências de 10,

$$I = \frac{E}{R}$$
$$= \frac{100}{10^6}$$
$$= 10 \text{ microampères}$$

Lembre-se de que você pode considerar o secundário de um transformador como um gerador de eletricidade com relação ao circuito do secundário. Aqui está a próxima pergunta:

A perda por histerese no núcleo de um transformador de boa qualidade é mantida ao mínimo pelo fabricante. Isto é obtido

A **Escolhendo um material de boa qualidade para o núcleo** (passe para o item 7).
B **Laminando o material do núcleo** (passe para o item 12).

18 *Se sua resposta para a pergunta no item 13 é A, está errada. Um contato da forma A é normalmente aberto.* Passe para o item 25.

19 *A resposta correta para a pergunta no item 4 é B. É mais fácil fazer as linhas de fluxo passarem através do ferro do que através do ar. Você então pode dizer que o ferro possui uma relutância menor do que o ar.*
Aqui está a próxima pergunta:

Qual é o tipo de relé que pode sentir quando existe uma diferença entre duas tensões?

....

Passe para o item 28.

20 *A resposta correta para a pergunta no item 3 é B. A lâmpada L_2 é normalmente ligada porque isso é feito através de contatos normalmente fechados. Enquanto S_2 estiver aberta, L_2 estará ligada. Fechar S_1 faz com que L_1 esteja ligada.*
Aqui está a próxima pergunta:

A experiência de Oersted mostrou:

A **Que não existe relação alguma entre eletricidade e magnetismo** (passe para o item 24).
B **Qual é a relação entre eletricidade e magnetismo** (passe para o item 6).

21 *A resposta correta para a pergunta no item 7 é A. Os transformadores são usados para combinar a impedância de uma carga com a de um gerador.*
Aqui está a próxima pergunta:

Qual das alternativas indicadas a seguir constitui uso para transformadores em circuitos eletrônicos?

A **Elevar a potência** (passe para o item 5).
B **Elevar a corrente** (passe para o item 11).

22 *A resposta correta para a pergunta no item 2 é B. Um relé pode ser considerado como uma chave operada eletricamente.*
Aqui está a próxima pergunta:

A lei de Faraday diz que, quando um campo magnético passa por um condutor, uma tensão é gerada. O valor da tensão não depende

A **Do tamanho do condutor** (passe para o item 4).
B **Do número de condutores sobre o qual o campo se desloca** (passe para o item 10).

23 *Se sua resposta para a pergunta no item 11 é A, está errada. A pergunta é qual transformador não pode ser usado como transformador de isolamento.* Passe para o item 3.

24 *Se sua resposta para a pergunta no item 20 é A, está errada. Você deve lembrar que o fluxo de uma corrente elétrica sempre forma um campo magnético em volta do mesmo.*
Passe para o item 6.

25 *A resposta correta para a pergunta no item 13 é B. Um contato de forma B é normalmente fechado e um contato de forma A é normalmente aberto.*
Aqui está a próxima pergunta:

Quando a tensão sobre o primário de certo transformador for 100 volts, a tensão sobre o secundário é de 25 volts. A relação de transformação entre o primário e o secundário N_1 / N_2 é

A **4:1** (passe para o item 2).
B **1:4** (passe para o item 8).

26 *Se sua resposta para a pergunta no item 6 é A, está errada. Rever a regra na Figura 4-2.* Passe para o item 13.

27 *Se sua resposta para a pergunta no item 7 é B, está errada. Um dos componentes que você estudou neste capítulo, às vezes, é usado para combinação de impedâncias.* Passe para o item 21.

28 *Um relé diferencial pode sentir quando existe uma diferença entre duas tensões.*

Você agora terminou as perguntas de revisão programada. A segunda etapa é pôr algumas dessas idéias em prática em experiências de laboratório. Passe para a seção de experiências deste capítulo.

EXPERIÊNCIAS

(As experiências descritas nesta seção podem ser realizadas na placa de circuitos descrita no Anexo C ou numa montagem de laboratório similar.)

■ FINALIDADE

Essa experiência será para demonstrar algumas características básicas de circuitos de transformadores e de relés.

PRIMEIRA PARTE

■ TEORIA

O circuito secundário de um transformador pode ser considerado completo e separado do circuito primário quando você estiver acompanhando o caminho do circuito. Você pode considerar o enrolamento primário de um transformador como uma carga para um circuito e o secundário de um transformador como uma fonte de tensão para outro circuito. Porém, isto serve apenas como convenção ao acompanhar caminhos de circuitos. Lembre-se de que o circuito primário possui sempre uma relação bem definida com relação ao secundário. Por exemplo, se você aumentar a corrente no enrolamento secundário, a corrente no enrolamento primário também irá aumentar. Esta experiência irá demonstrar que *a corrente primária depende da secundária.*

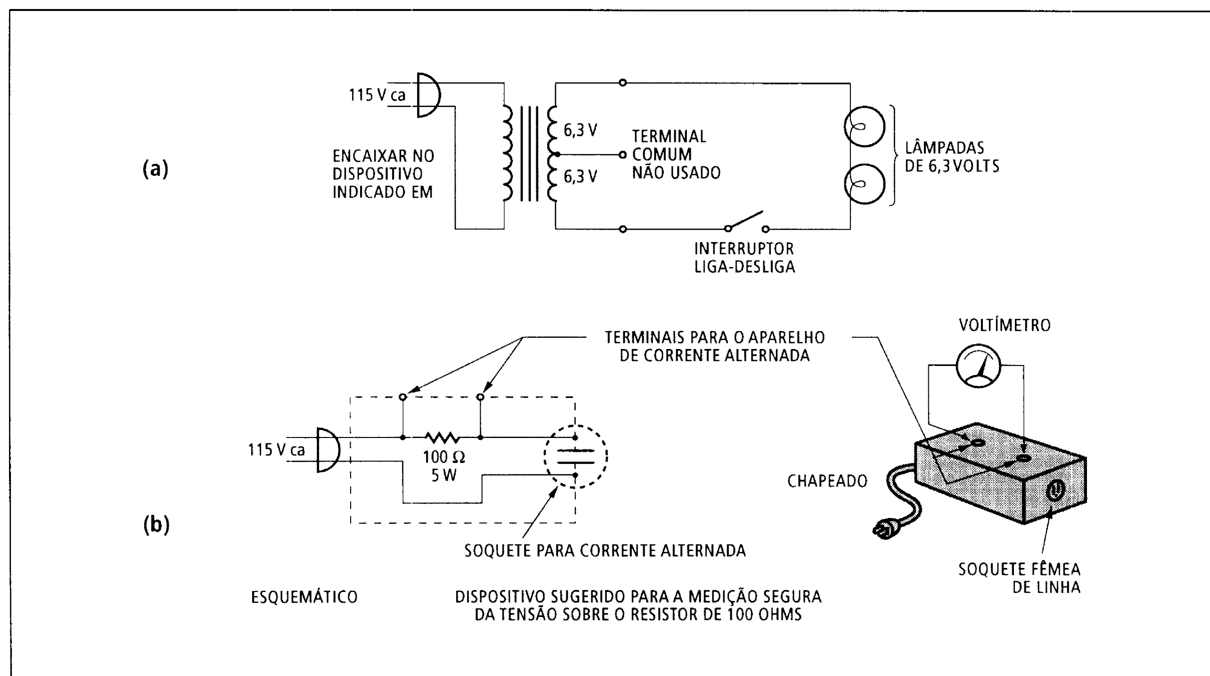
■ MONTAGEM DO TESTE

O diagrama esquemático do circuito está indicado na Figura 4-25a. A Figura 4-25b mostra um diagrama chapeado do dispositivo usado para inserir o resistor R_l no circuito primário. Se a corrente do primário mudar por qualquer razão, então a tensão sobre R_l também irá mudar. Esta tensão é medida com um voltímetro de corrente alternada.



Antes de ligar o circuito à linha de corrente alternada, ligue o voltímetro de corrente alternada sobre o resistor R_l. Não faça ligação alguma ou toque qualquer um dos condutores do circuito quando o plug estiver na tomada. Existe uma tensão de linha no primário quando o circuito estiver em operação. Esta tensão de linha pode matar.

Fig. 4-25: Diagrama esquemático da experiência.



PROCEDIMENTO

☐ *Etapa 1:* Quando você tiver ligado o circuito conforme indicado na Figura 4-25, verifique suas ligações e, em seguida, insira o plug na linha de alimentação.

☐ *Etapa 2:* Ler o valor da tensão alternada sobre R_1, com a chave na posição DESLIGA. As lâmpadas devem estar apagadas. Anotar o valor:

....**volts ca**

☐ *Etapa 3:* Girar a chave para a posição LIGA e ler o valor da tensão alternada sobre R_1 . Anotar o valor :

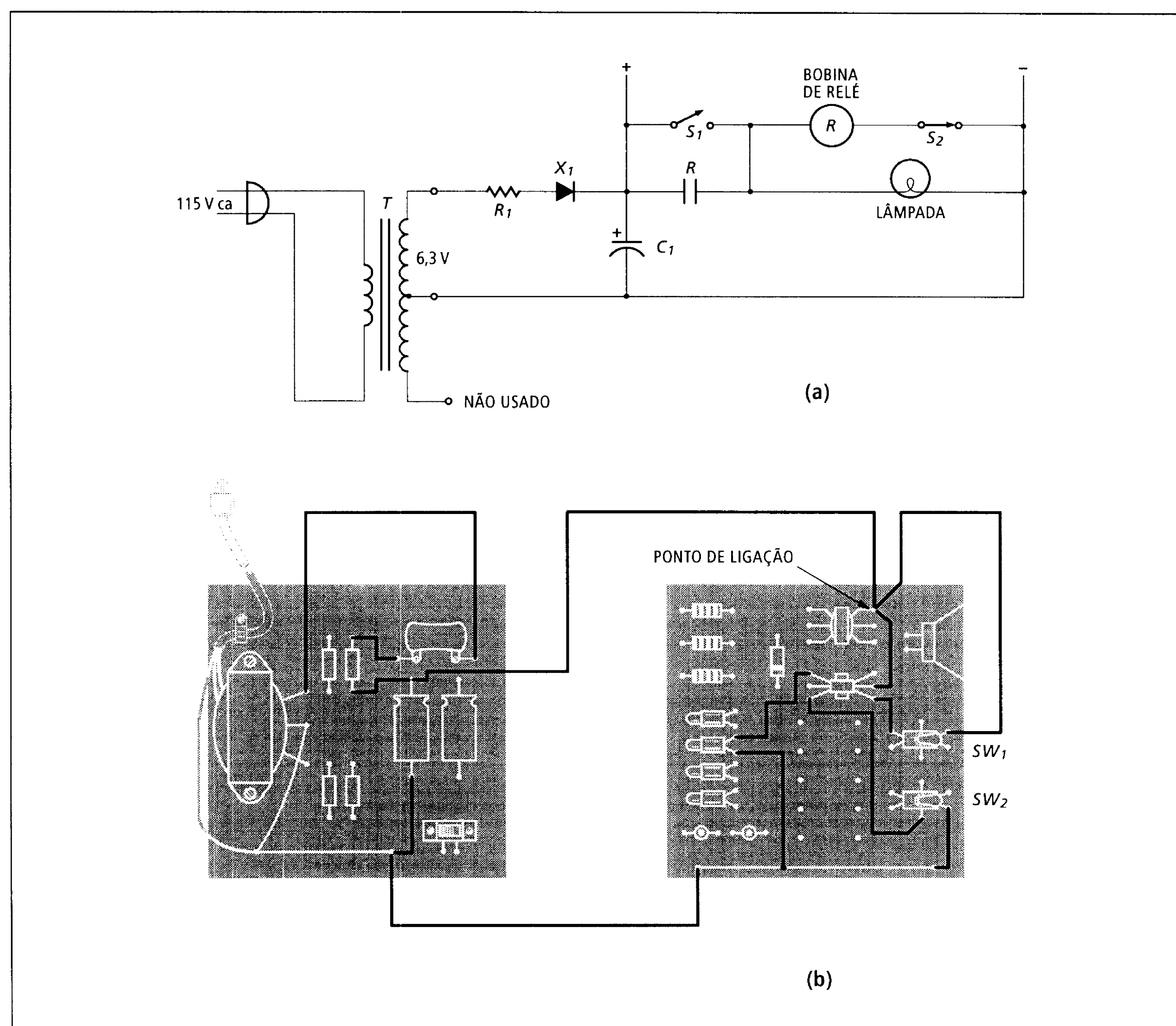
....**volts ca**

☐ *Etapa 4:* Depois de ter anotado as leituras nas Etapas 1 e 2, remover o plug de alimentação da linha de corrente alternada.

☐ *Etapa 5:* A tensão aumentou ou diminuiu quando o circuito secundário forneceu energia para as lâmpadas?

....

Fig. 4-26: Circuito para a experiência com relés: (**a**) diagrama esquemático; (**b**) diagrama chapeado.



CONCLUSÃO

Sua experiência deve ter demonstrado que uma mudança na corrente do secundário produz uma mudança na corrente do primário. Ademais, se a corrente no secundário aumentar a corrente no primário também irá aumentar. A tensão sobre R_1 aumentou quando as lâmpadas estavam na posição LIGA. Isto significa que a corrente através de R_1 deve ter aumentado. Lembre-se de que a tensão sobre o resistor está diretamente relacionada com a corrente que passa através dele.

SEGUNDA PARTE

TEORIA

Neste capítulo, você observou duas maneiras diferentes de desenhar circuitos de relés em diagramas esquemáticos. É muito importante aprender ambos os métodos. Nesta experiência, você irá fazer a ligação de um circuito simples de relé de acordo só com seu diagrama de ligação industrial e verificar sua operação.

MONTAGEM DO TESTE

Cobrir o diagrama chapeado indicado na Figura 4-26b, fazer as ligações do circuito de acordo com o diagrama esquemático indicado na Figura 4-26a.

PROCEDIMENTO

☐ *Etapa 1:* Verificar seu circuito com o circuito indicado na Figura 4-26b.

☐ *Etapa 2:* Com o interruptor S_1 aberto e S_2 fechado, observar que o relé não está energizado e a lâmpada não está ligada.

☐ *Etapa 3:* Fechar o interruptor S_1; isto energiza a bobina do relé *R*. A lâmpada agora está ligada.

☐ *Etapa 4:* Abrir o interruptor S_1 e notar que o relé permanece energizado, isto porque o contato *R* do relé agora está fechado e completa o circuito para a bobina do relé.

☐ *Etapa 5:* Abrir o interruptor S_2 e notar que o relé cai, isto é, torna-se desenergizado.

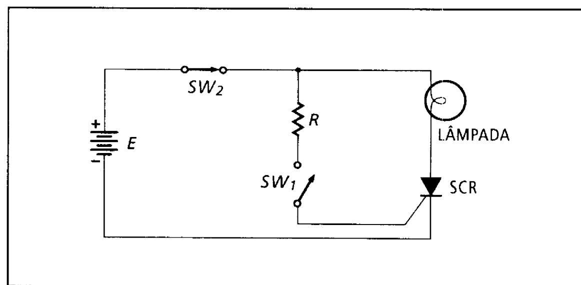


Fig. 4-27: Circuito de retenção de estado sólido.

CONCLUSÃO

O circuito da Figura 4-26 é conhecido como circuito de travamento ou circuito de relé com autoretenção. O relé é energizado quando o interruptor S_1 for fechado e os contatos *R* do relé também forem fechados. O circuito da bobina *R* é completado através do contato *R* do relé, de modo que o relé permanece energizado.

O circuito de semicondutor SCR da Figura 4-27 tem a mesma função que o relé da Figura 4-26a. O relé semicondutor *R* está ligado aplicando uma tensão positiva à batente através do resistor *R*. Isto ocorre quando S_1 está fechada.

Uma vez que o semicondutor *R* estiver ligado, ele permanecerá nessa condição se esta chave estiver aberta. Para desligar o SCR, você deve abrir o interruptor S_2.

AUTOTESTE COM RESPOSTAS

(As respostas com discussões encontram-se no final do capítulo / pág. 92.)

1. Qual dos seguintes tipos de transformadores não pode ser usado como transformador de isolamento?

(a) Autotransformador;

(b) Transformador de potência com núcleo de ferro com enrolamentos primário e secundário separados.

2. A intensidade da força magnética necessária para remover o magnetismo residual do núcleo de um transformador durante cada meio-ciclo é chamada

(a) força de remanência;

(b) força coersiva;

(c) força transformadora;

(d) eliminador.

3. As correntes parasitas podem ser reduzidas:

(a) usando um maior diâmetro de fio para os enrolamentos;

(b) reduzindo a tensão do primário;

(c) reduzindo a corrente do primário;

(d) laminando o núcleo de ferro.

4. É mais fácil estabelecer linhas de fluxo no ferro doce do que estabelecer linhas de fluxo no ar; isto porque o ferro possui:

(a) uma resistência menor;

(b) um campo de forma menor;

(c) uma relutância menor;

(d) uma suspensabilidade menor.

5. Na operação normal de um transformador, a tensão aplicada vai para:

(a) o primário;

(b) o secundário.

6. Quando um condutor for deslocado através de um campo magnético, uma tensão é sempre induzida. O valor da tensão depende:

(a) do tamanho do condutor;

(b) da velocidade de deslocamento do condutor.

7. Se a corrente no circuito secundário de um transformador aumentar, a corrente no primário irá

(a) diminuir;

(b) permanecer a mesma;

(c) aumentar;

(d) não será afetada.

8. A relação de transformação do primário para o secundário de certo transformador é de 2:3. Se a tensão sobre o secundário for de 60 volts, a voltagem sobre o primário deverá ser:

(a) 40 volts;

(b) 90 volts.

9. Certo relé é energizado por uma bateria. Uma chave ligada a essa bateria controla a corrente da bobina. Se o relé for eletricamente travado, um de seus contatos está:

(a) em série com a chave LIGA-DESLIGA;

(b) em paralelo com a chave LIGA-DESLIGA.

10. A parte do relé que desloca os contatos é chamada:

(a) rotor;

(b) estator;

(c) bobina;

(d) armadura.

RESPOSTAS AO AUTOTESTE

1. (a) - Não existe isolamento entre o primário e o secundário de um autotransformador.

2. (b) - Isto é a definição da força coersiva.

3. (d) - Núcleos de ferro laminado são usados em relés de corrente alternada, assim como em transformadores.

4. (c) - A relutância é igual à força magnética dividida pelo fluxo magnético. O inverso da relutância é chamado *permeabilidade.*

5. (a)

6. (b) - Essa é a lei de Faraday. A tensão depende também do ângulo no qual o condutor corta o fluxo e o número (não o tamanho) dos condutores. A tensão máxima induzida ocorre quando o condutor corta o fluxo num ângulo de 90°.

7. (c) - Isto foi demonstrado na seção de experiências.

8. (a) - Existe um número menor de voltas de fio no primário. Portanto a tensão sobre o primário será menor que a tensão sobre o secundário.

9. (b) - Isto foi demonstrado na seção de experiências.

10. (d) - A armadura desloca-se quando a corrente da bobina começa e quando pára.

O que são os transdutores e como eles são usados?



INTRODUÇÃO

No estudo dos transdutores é importante conhecer o significado científico das palavras *trabalho* e *energia.* O trabalho é definido como o uso de uma força para movimentar um objeto, ao longo de uma certa distância.

Matematicamente,

trabalho = força x **distância**

Por exemplo, se 1 kg de força for usado para puxar um trenó a uma distância de 1 metro, o trabalho realizado será de *1 kgm.* Se você for um funcionário de escritório e gastar 8 horas por dia em sua mesa, pode sentir que está trabalhando. Porém, no sentido científico, não há realmente trabalho realizado porque você não está usando uma força para movimentar objetos ao longo de uma certa distância. Por outro lado, se você empurrar uma caixa com uma força de 20 kg ao longo de uma distância de 15 metros, terá realizado um trabalho de 300 kgm (20 x 15 = 300).

É interessante notar que o *volt* usado em medições elétricas é definido como a quantia de trabalho usada para movimentar uma carga positiva do terminal negativo de uma fonte de tensão para o terminal positivo da mesma fonte. Desta forma o volt, como muitas outras unidades de medição em eletricidade e magnetismo, é baseado em leis básicas da ciência.

O termo *energia* também tem um significado básico quando usado em ciência. Por definição a *energia* é a capacidade de realizar trabalho. Nesta definição, o termo *trabalho* significa força x distância. Existem seis formas básicas conhecidas de energia: energia mecânica, energia térmica (calor), energia luminosa, energia química, energia nuclear e energia elétrica. A energia, em qualquer uma dessas formas é capaz de realizar trabalho; isto é, é capaz de movimentar um objeto ao longo de uma certa distância.

Na eletrônica, preocupamo-nos com a medição e o uso da energia.

Um *transdutor* é um dispositivo que permite à energia de um sistema controlar a energia de outro sistema. Para simplificar isso, você pode pensar num transdutor como um dispositivo que converte um tipo de energia em outro.

Dois exemplos simples de transdutores estão indicados na Figura 5-1. O microfone é um exemplo de transdutor; ele converte energia sonora (uma forma de energia mecânica) em impulsos elétricos. Um alto-falante é um transdutor que converte impulsos elétricos em energia sonora.

Os transdutores são usados em circuitos eletrônicos para duas finalidades muito importantes: para a medição e como sensores em circuito de controle.

Vamos, por exemplo, supor que desejamos medir a temperatura de algum ponto distante. Uma maneira de fazê-lo é a de converter a energia térmica em impulsos elétricos. Os impulsos elétricos podem ser enviados através de um fio condutor e, em seguida, podem ser convertidos em leitura de um medidor.

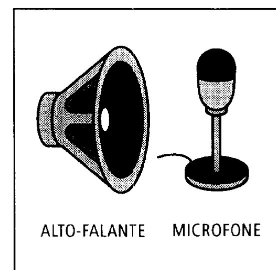


Fig. 5-1: Dois exemplos de transdutores.

Fazer medições em pontos remotos, como a medição acima descrita, é chamado *telemetria.* Neste exemplo, um transdutor é necessário para converter a energia térmica em impulsos elétricos.

Os transdutores também são usados como sensores. De fato, os termos *transdutor* e *sensor* são usados significando a mesma coisa. Vamos supor que desejamos controlar a temperatura de uma sala com um sistema elétrico que irá ligar o aquecedor quando a temperatura da sala estiver fria demais e desligá-la quando a sala estiver suficientemente aquecida.

Para fazer isso, você precisa de algum tipo de sensor ou transdutor que irá transformar a temperatura da sala num sinal elétrico para controlar o aquecedor.

Neste capítulo, você também irá estudar como trabalham diferentes tipos de transdutores. Aplicações serão fornecidas para que você tenha o melhor entendimento de como funciona o transdutor. Você deve sempre lembrar o fato de que existem muitos outros usos para transdutores que não estão incluídos aqui. Da mesma forma, para a maioria dos usos descritos neste capítulo, existe mais de uma maneira de realizar a mesma coisa. Se você tiver um bom conhecimento de como funcionam os transdutores, não terá dificuldade alguma para entender os sistemas que os utilizam.

Você estará capacitado a responder às seguintes perguntas, depois de estudar este capítulo:

- **Qual é a diferença entre um transdutor ativo e um transdutor passivo?**
- **Dar alguns exemplos sobre os usos dos transdutores.**
- **Dar alguns exemplos de transdutores passivos.**
- **O que é uma ponte de Wheatstone?**
- **Como funciona uma ponte de corrente alternada?**
- **Dar alguns exemplos de transdutores ativos.**
- **Como funcionam os microfones e os alto-falantes?**

INSTRUÇÃO

Qual é a diferença entre um Transdutor Ativo e um Transdutor Passivo?

Existem dois tipos de transdutores. Os *transdutores ativos* e os *transdutores passivos.*

Se o transdutor gerar uma tensão que está relacionada com a quantidade de energia entrando num sistema, diz-se que é um *transdutor ativo.* Um exemplo de um transdutor ativo é uma fotocélula que gera uma tensão que é diretamente relacionada com a quantidade de luz que incide sobre ela.

Para entender como funcionam os transdutores ativos, será útil rever os seis métodos básicos de geração de uma tensão. Estes estão ilustrados na Figura 5-2. O método indicado na Figura 5-2a é por atrito; este método é usado para gerar eletricidade estática. Esfregando uma vareta de vidro com um pano de seda, faz-se com que tanto o pano como a vareta tornem-se eletrizados. Outro exemplo de geração de eletricidade estática consiste em passar um pente nos cabelos. Em dia seco, tanto o pente como os cabelos tornar-se-ão eletricamente carregados. Você pode ouvir as faíscas pulando entre o pente e os cabelos. Este método de geração de uma tensão não é usado com muita freqüência em transdutores ativos.

Outro método de geração de uma tensão é por ação química. Isto está indicado na Figura 5-2b. Toda vez que dois tipos diferentes de metais são mergulhados em ácido ou solução alcalina, é gerada uma tensão entre eles. Isto, em princípio, é usado na fabricação de baterias e pilhas. Assim como no método de atrito, você verá que esse método de geração de tensão não é usado freqüentemente na fabricação de transdutores.

No terceiro método, indicado na Figura 5-2c, usa-se força ou pressão. Certos materiais, como os cristais de quartzo ou sais de Rochelle e o titanato de bário, irão gerar uma tensão sobre a superfície quando estiverem sob pressão ou sob a ação de uma força. Isto é chamado *método piezoelétrico* de geração de tensão. O valor da tensão gerada depende da intensidade da força da pressão e também do tipo de material usado. As tensões geradas geralmente são muito pequenas. A Figura 5-2b mostra o princípio da lei de Faraday; esta lei afirma que, quando existe um movimento entre um campo magnético e um condutor, é gerada uma tensão. Um ímã permanente é deslocado para dentro e para fora de uma bobina, no

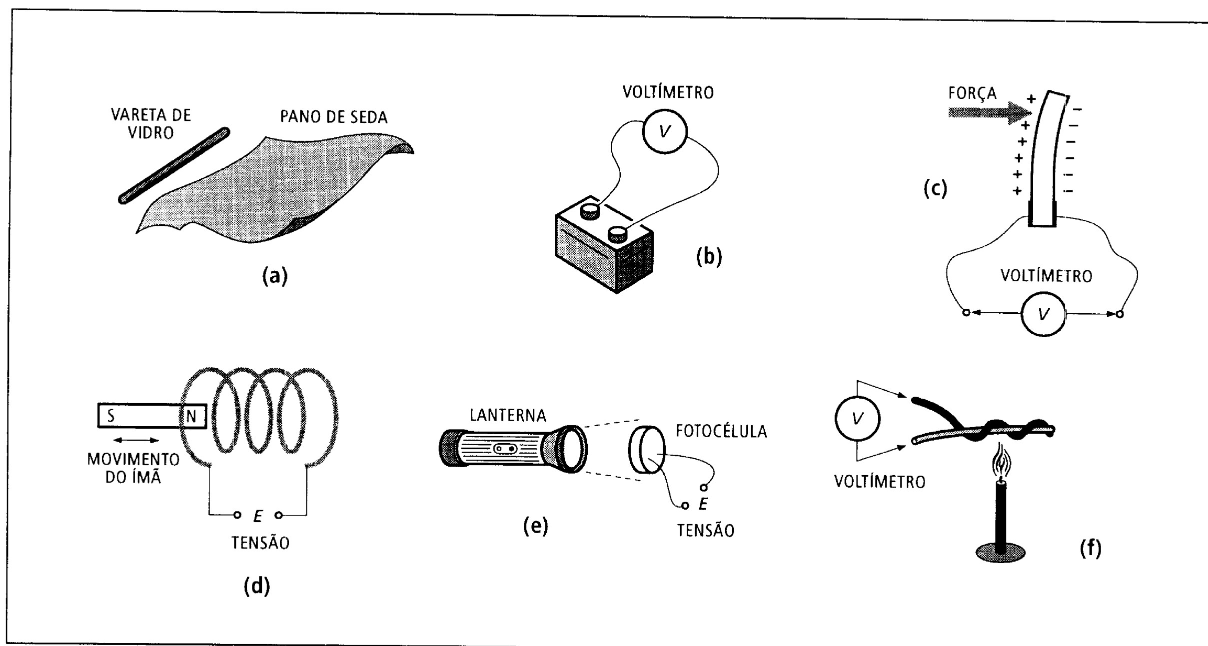


Fig. 5-2: Métodos de geração de uma tensão: (**a**) por atrito; (**b**) por processo químico; (**c**) por efeito piezoelétrico; (**d**) por deslocamento de campo através de um condutor; (**e**) por processo fotoelétrico; (**f**) por efeito termoelétrico.

desenho. Assim, é gerada uma tensão sobre os terminais da bobina. A intensidade da tensão depende do número das espiras de fio da bobina, da força do ímã e da velocidade de deslocamento do ímã.

A Figura 5-2e mostra uma fotocélula energizada pela luz de uma lanterna. A fotocélula produz uma tensão de saída que depende da intensidade da luz incidente. A tensão depende também do tipo de material usado na fabricação da fotocélula.

A Figura 5-2f mostra o método de geração de uma tensão pelo efeito *Seebeck.* Toda vez que a junção de dois materiais diferentes for aquecida, é gerada uma tensão. O valor da tensão depende da quantidade de calor e também dos tipos de metais usados. A junção dos metais é chamada *termopar.*

Um dos métodos para gerar eletricidade nas Figuras 5-2c, 5-2d, 5-2e e 5-2f é geralmente usado em transdutores ativos.

No *transdutor passivo*, a energia sentida pelo sensor produz alterações em resistência, capacitância ou indutância. Os transdutores passivos também devem ser ligados dentro do circuito que possua uma fonte de energia elétrica.

RESUMO

1. O significado científico da palavra *trabalho* é a força exercida ao longo de uma certa distância. Matematicamente,
trabalho = força x distância.
2. *Energia* é definida como a capacidade de realizar trabalho.
3. Um transdutor é um dispositivo que permite que a energia de um sistema controle a energia de um outro sistema.
4. A realização de medições de uma posição remota é chamada *telemetria*.
5. Os termos *transdutor* e *sensor* são intercambiáveis.
6. O transdutor ativo produz uma tensão de saída que está diretamente relacionada com a energia sentida.
7. Existem seis métodos básicos de geração de uma tensão. Quatro desses métodos são usados na fabricação de transdutores ativos.
8. Um transdutor passivo produz uma alteração na resistência, capacitância ou indutância diretamente relacionada com a energia que está sendo medida.

Alguns exemplos de usos de Transdutores

Antes de estudar os diversos tipos de transdutores e como funcionam, será útil você lembrar dois exemplos simples dos usos de um transdutor.

A Figura 5-3 mostra um esquema simplificado de um sistema de temperatura controlada. Neste desenho, a área aquecida deve ser mantida em uma temperatura constante. Um transdutor é inserido na área aquecida e ligado num *circuito ponte.* Qualquer alteração da temperatura dentro da área aquecida irá causar uma alteração na re-sistência do transdutor. Isto, por sua vez, irá produzir um sinal de saída no circuito ponte.

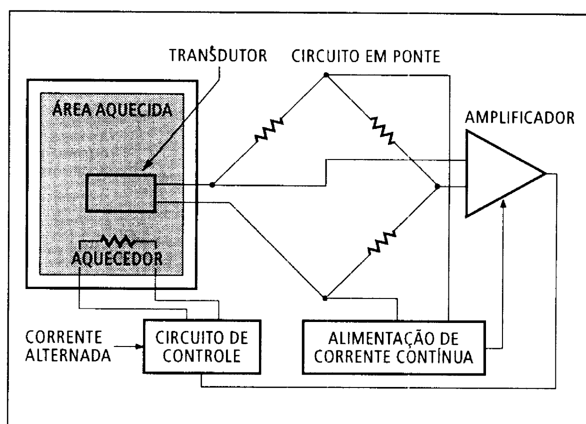


Fig. 5-3: Um circuito simples de controle.

O sinal de saída no circuito ponte é levado a um amplificador que serve para duas finalidades: o amplificador aumenta o sinal da ponte e modifica também o sinal, de modo que pode ser usado para operar o circuito de controle. O circuito de controle possui duas entradas: uma entrada no amplificador e outra em corrente alternada para operar o aquecedor na área aquecida. A potência para o aquecedor é ligada e desligada pelo circuito de controle.

Iremos iniciar com a premissa de que a área aquecida está exatamente na temperatura correta e o aquecedor está desligado. Vamos agora supor que a temperatura comece a cair. Isto altera o sinal de saída do transdutor e reduz o sinal do circuito ponte. O amplificador aumenta o sinal de modo que possa ser usado para ligar o circuito de controle. O circuito de controle fornece energia alternada ao aquecedor. O aquecedor eleva a temperatura da área aquecida de volta para a temperatura desejada.

Tão logo a temperatura desejada seja atingida, a saída do transdutor volta ao normal e o amplificador não faz mais o circuito de controle enviar energia para o aquecedor.

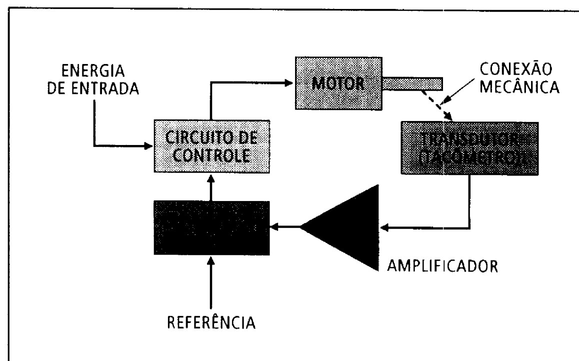
A saída de potência do transdutor é muito pequena para ser usada para operar diretamente o circuito de controle. Esta é a razão pela qual é necessário um amplificador no sistema.

Na última seção você viu dois tipos de transdutores. Aqueles que produzem a tensão de saída e aqueles que não produzem tensão de saída. Estes eram chamados *transdutores ativos* e *transdutores passivos*. O transdutor que você vê no circuito da Figura 5-3 é passivo, isto é, ele não produz uma tensão de saída. De fato, é um resistor sensível à temperatura chamado *termistor.* Quando a temperatura na área aquecida muda, a resistência do termistor muda.

Uma fonte externa de alimentação de corrente contínua é necessária para converter as alterações da resistência do termistor nas alterações da tensão, fornecidas para o amplificador. Uma tensão contínua de alimentação é também necessária para operar os circuitos do amplificador. A Figura 5-4 mostra outro exemplo de como o transdutor pode ser usado no sistema de comando. A finalidade do sistema é comandar a velocidade de um motor. Um *tacômetro* é usado como transdutor e produz uma tensão que é proporcional à velocidade do motor. Um amplificador é necessário para aumentar a tensão de saída do tacômetro.

Existem duas tensões de entrada para o comparador. Uma é a tensão do amplificador do transdutor e a outra é uma tensão de referência. Se as duas tensões forem iguais, não existe saída do comparador para o circuito de comando e a velocidade do motor não é alterada. Se a velocidade do motor diminuir ou a saída do amplificador do transdutor for inferior à tensão de refe-

Fig. 5-4: Controle de velocidade simples em circuito fechado.



rência no comparador, isto produz uma tensão enviada ao circuito de comando que irá aumentar a velocidade do motor. Por outro lado, se a velocidade do motor exceder o valor permitido, a tensão de saída do amplificador do transdutor será maior do que a tensão de referência. Neste caso, a saída do comparador irá fazer com que o circuito de comando reduza a velocidade do motor para a velocidade correta.

Os circuitos das Figuras 5-3 e 5-4 possuem duas características muito importantes em comum. *Em primeiro lugar*, ambos usam transdutores. O transdutor sente o calor no circuito de comando da Figura 5-3 e o transdutor da Figura 5-4 sente a velocidade mecânica do motor. *Outra coisa* que os dois circuitos têm em comum é que a saída do transdutor é usada indiretamente para controlar a energia de entrada no sistema que está sendo controlado. Na Figura 5-3, a saída do transdutor controla a entrada de energia para o aquecedor. Na Figura 5-4, o transdutor controla a potência para o motor. Os circuitos como aqueles indicados são chamados *sistemas em circuito fechado*.

Alguns exemplos de Transdutores Passivos

Com um transdutor passivo (não-gerador), a energia sendo controlada produz alterações na resistência, capacitância e indutância. Vamos olhar de novo para o circuito da Figura 5-3. Você poderá ver que a energia sendo controlada é o calor e que um termistor é usado como sensor. Algumas alterações da temperatura provocam alterações importantes na resistência do termistor. O termistor é um exemplo de um transdutor passivo.

Como são feitos os Transdutores Resistivos?

A Figura 5-5 mostra alguns transdutores resistivos. Você deve sempre lembrar o fato de que transdutores passivos podem ser usados por um circuito em ponte de tal forma que uma alteração no valor da resistência produza uma alteração na tensão de saída.

Um termistor, Figura 5-5a, é um resistor *sensível à temperatura.* Isto foi discutido numa seção anterior.

A Figura 5-5b mostra como um resistor variável pode ser usado como transdutor, fazendo com que uma força mecânica controle diretamente o braço do resistor. Conforme a força mecânica se desloca da esquerda para a direita, a resistência entre os terminais x e y aumenta.

O resistor fotossensível, da Figura 5-5c, possui uma resistência que depende da quantidade de luz que incide sobre o mesmo.

O gerador de Hall, da Figura 5-5d, possui uma resistência que está diretamente relacionada com a quantidade e a intensidade do campo magnético presente.

O sensor de umidade, da Figura 5-5e, possui uma resistência que está relacionada com o teor de umidade presente na atmosfera. Alterações no valor da resistência estão diretamente relacionadas com mudanças de umidade.

O sensor de deformação, da Figura 5-5f, possui um arame muito fino que corre através de um material flexível. Geralmente, este resistor é cimentado ao material colocado sob tensão. Conforme o esforço for aplicado, o material se deforma fazendo com que o fio estique. Quando o fio for esticado, seu diâmetro muda; portanto, sua resistência muda.

É importante conhecer o sentido científico das palavras *esforço* e *deformação.* O *esforço* é uma força que tende a causar uma mudança de forma num corpo e *deformação* é a quantidade e o valor da mudança produzida num corpo como resistência do esforço aplicado.

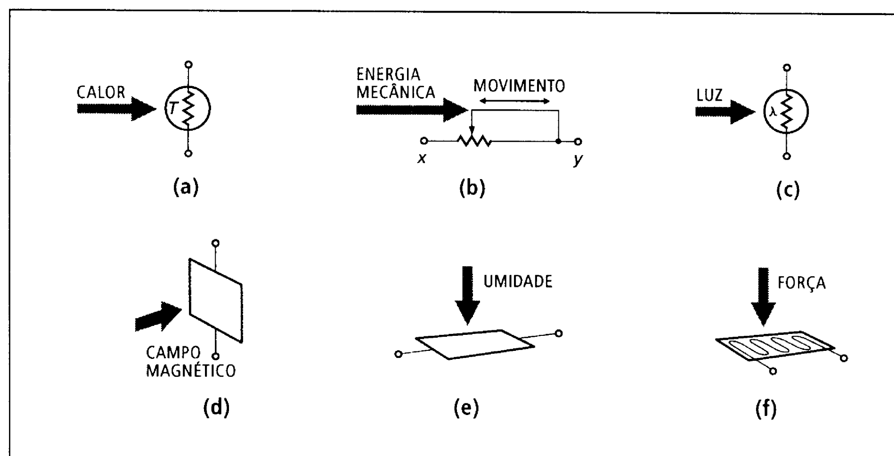


Fig. 5-5: Exemplos de transdutores resistivos:
(a) termistor;
(b) resistor variável;
(c) resistor fotossensível;
(d) gerador de Hall;
(e) sensor de umidade;
(f) sensor de deformação.

Desta forma, um sensor de deformação mede a mudança de forma de um corpo.

Na Figura 5-6 você pode ver como um resistor variável pode ser usado para determinar o nível de um fluido dentro de um tanque. A bóia desloca-se para cima e para baixo com o nível do fluido. Conforme o movimento da bóia, altera-se a resistência do resistor variável *R*. O resistor *R* está ligado como um reostato de tal forma que, quando o tanque estiver cheio, a resistência seja de 0 ohm. Quando o tanque estiver vazio a resistência entre o ponto *a* e a terra será máxima. Como no caso de outros transdutores resistivos, a saída pode ser ligada a um circuito em ponte.

Existem outras variações do circuito da Figura 5-6 que também são importantes. Em vez do conjunto de alavancas ser ligado a uma bóia, conforme indicado na ilustração, o mesmo pode ser ligado a qualquer objeto que se desloca dentro de uma distância limitada. Com esse arranjo é possível obter uma saída de resistência que varia conforme a posição.

RESUMO

1. Os transdutores que sentem a velocidade do motor são chamados *tacômetros*.
2. Quando um transdutor, ligado à saída de um sistema, for usado para controlar a entrada deste mesmo sistema, o mesmo é chamado *sistema em circuito fechado*.
3. Um transdutor resistivo altera o valor da resistência quando ocorre uma mudança na grandeza controlada.
4. Você viu exemplos de transdutores resistivos sendo usados para controlar calor, movimento, luz, intensidade de campo magnético, umidade, força e nível de fluido.
5. Outros usos de transdutores resistivos são também possíveis.
6. Um termistor é um transdutor sensível à temperatura. Sua resistência varia dentro de uma ampla faixa para pequenas alterações em sua temperatura.
7. O esforço é uma força que tende a alterar a forma de um corpo, e a deformação é a alteração de forma que ocorre quando o esforço é aplicado.

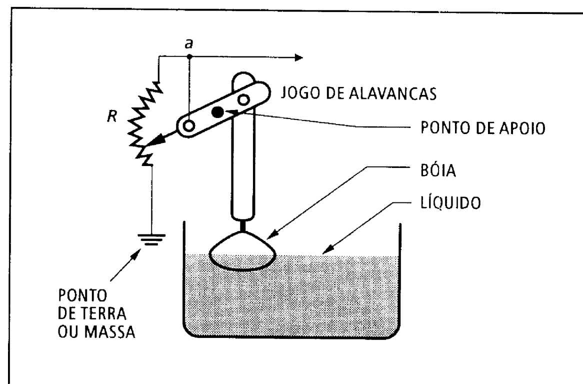


Fig. 5-6: Resistor variável *R* usado como indicador de nível de fluido.

Como são feitos os Transdutores Capacitivos?

Num transdutor capacitivo, a energia controlada comanda o valor da capacitância. A capacitância de um capacitor depende de três fatores: da área das placas diretamente opostas uma à outra, da distância entre as placas, e do tipo de material usado para dielétrico.

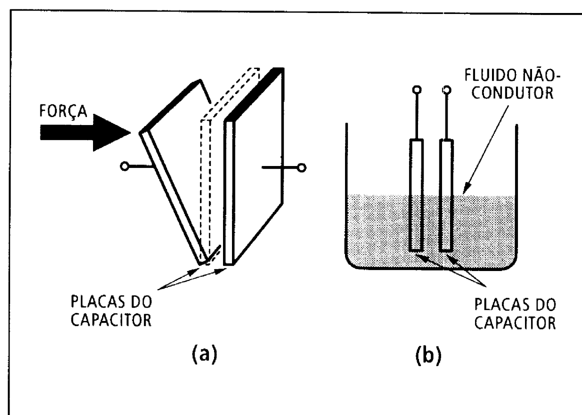


Fig. 5-7: Transdutores capacitivos:(**a**) alternando o espaço entre as placas; (**b**) alterando o tipo de dielétrico (veja o texto).

A Figura 5-7 mostra dois exemplos de transdutores capacitivos. Na Figura 5-7a o valor da capacitância é alterado mudando a distância entre as placas. Essa distância é alterada pela aplicação de uma força externa, representada por uma seta. Conforme a força empurra as placas aproximando-as uma da outra, a capacitância aumenta.

A Figura 5-7b mostra outro exemplo de transdutor capacitivo. Neste caso, o nível de um fluido não-

condutor está sendo controlado pela mudança do dielétrico do capacitor. Quando o tanque está cheio, o dielétrico consiste do fluido não-condutor. Conforme o fluido é esvaziado do tanque, acrescenta-se maior quantidade de ar dielétrico entre as placas, e dessa forma a capacitância é reduzida. Dessa maneira, o valor da capacitância é diretamente relacionado ao nível do fluido.

Em outra versão do transdutor capacitivo, uma força externa insere o dielétrico ou o exclui da área entre as placas.

Quando a capacitância de um transdutor capacitivo for alterada, uma alteração do circuito é provocada. Por exemplo, você pode usar a mudança da capacitância para alterar a leitura de um medidor. Existem também outros circuitos especiais de ponte que convertem mudanças de capacitância em mudanças de tensão.

Como são feitos os Transdutores Indutivos?

Em um transdutor indutivo, a energia que está sendo controlada provoca uma alteração na indutância de uma bobina. Transdutores indutivos são também chamados *transdutores de relutância variável.* Em alguns casos, um transdutor indutivo pode ser ativo, porém a discussão aqui limitar-se-á a transdutores passivos.

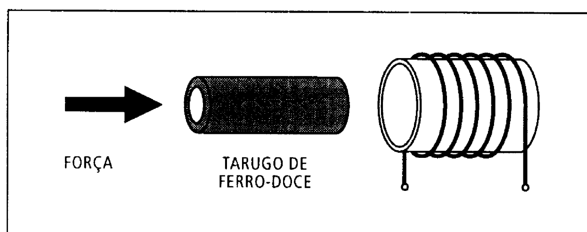


Fig. 5-8: Transdutor indutivo passivo.

A indutância de uma bobina depende do número de espiras do fio na bobina, a forma da bobina e o tipo de circuito magnético em volta do qual a bobina está enrolada. Inserindo um tarugo de ferro-doce no centro de uma bobina, aumenta-se sua indutância. Um transdutor indutivo é mostrado na Figura 5-8. Aqui uma aplicação de uma força externa faz com que o tarugo de ferro-doce seja deslocado para dentro ou para fora do centro da bobina.

Como no caso de transdutores capacitivos, você pode usar a alteração de indutância para obter uma alteração de tensão num circuito especial de ponte. Pode ser usado também de outra maneira, como, por exemplo, alterando a leitura de um medidor.

O que é uma Ponte de Wheatstone?

(Observe a Figura 5-9). É prática comum ligar transdutores passivos a um braço de um circuito em ponte conforme mostrado na Figura 5-9a. Esse circuito é chamado *Ponte de Wheatstone.* Uma de suas mais importantes aplicações consiste na medição de um valor desconhecido de resistência. Quando a corrente entre os pontos *a* e *b* estiver em zero, diz-se que a ponte de Wheatstone está *balanceada.* Nesta condição, a seguinte equação é aplicada:

$$R_x = \frac{R_1 \times R_3}{R_2}$$

em que, R_1, R_2, R_3 e R_x = valores de resistências nas mesmas unidades, tais como ohms, kilohms ou megaohms.
R_x = um valor desconhecido de resistência.

O procedimento para usar a ponte de Wheatstone para medir resistência é simples. O resistor desconhecido R_X é ligado dentro do circuito.

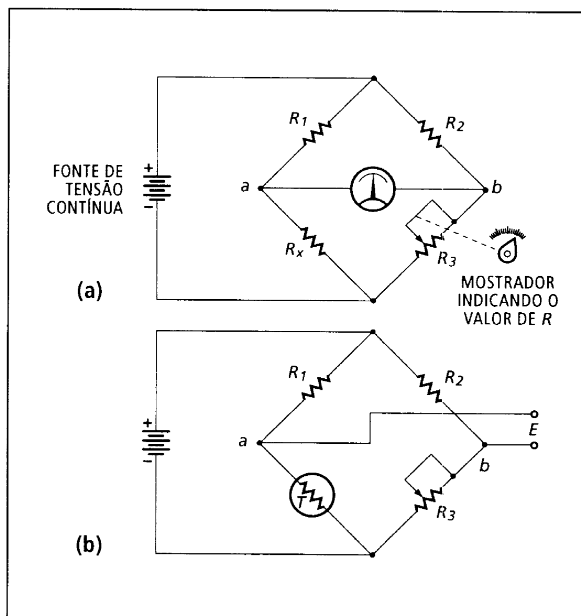


Fig. 5-9: Circuito da ponte de Wheatstone: (**a**) para medir a resistência de um resistor desconhecido R_X; (**b**) como circuito de saída de um transdutor.

Em seguida, R_3 é ajustado até que a corrente indicada pelo medidor esteja igual a zero. Isso significa que a ponte é balanceada. O valor da resistência R_3 é lido na escala do medidor. Os valores de R_1 e R_2 são também conhecidos. Portanto, quando a ponte está balanceada, a equação anterior pode ser usada para encontrar a resistência de R_X.

A ponte de Wheatstone é, às vezes, usada no lugar de um ohmímetro para medir valores de resistência em vista de sua maior precisão.

Alterar o valor de qualquer resistência na ponte provoca uma alteração na corrente de *a* e *b* na ponte. Isso significa que, quando a ponte estiver fora de balanceamento, existe uma tensão entre esses dois pontos. Lembre-se de que uma tensão é necessária para provocar um fluxo de corrente.

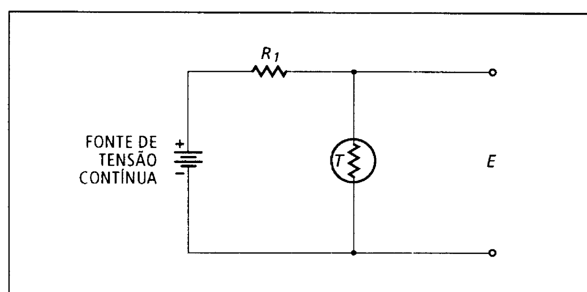
A Figura 5-9b mostra como a ponte de Wheatstone pode produzir uma alteração na tensão de saída quando ocorre uma alteração na temperatura. A alteração na temperatura provoca uma alteração na resistência do termistor. Quando a resistência do termistor altera-se, ocorre uma alteração na tensão de saída *E* porque a ponte torna-se desbalanceada.

O termistor e a ponte no sistema de controle da Figura 5-3 (pág. 96) trabalham de acordo com esse princípio. O valor da tensão está diretamente ligado ao valor de desbalanceamento da ponte.

Qual é a vantagem em usar uma Ponte de Wheatstone?

À primeira vista você pode achar que não houve vantagem em usar o termistor e o circuito de ponte. Vamos supor pelo contrário que o termistor esteja ligado dentro do circuito simples mostrado na Figura 5-10. Novamente, o termistor está localizado em algum ponto em que é necessário controlar as mudanças de temperatura. Quando a temperatura varia, a resistência do termistor também varia. Isso provoca um valor diferente da tensão *E* sobre o termistor. O motivo para essa mudança de tensão é baseado na lei de Ohm, que afirma que a tensão sobre a resistência depende da corrente que passa pela mesma e também de sua resistência. Alterar a resistência do termistor alterará a tensão do mesmo. A pergunta é: por que não usar esse circuito simples em vez do circuito mais complexo indicado na Figura 5-9?

Fig. 5-10: Um circuito simples com termistor.



Para responder a essa pergunta, você deve em primeiro lugar considerar a tensão aplicada, que nos circuitos da Figura 5-9 e 5-10 é a bateria. (Na prática ela pode ser uma tensão alternada ou uma tensão contínua.) Vamos supor que a tensão aplicada na Figura 5-10 caia no valor em volts. Isso reduzirá a intensidade da corrente que flui através de R_1 e do termistor, provocando uma queda da tensão *E* sobre o termistor. Haverá então uma alteração na tensão de saída independentemente do fato de não existir alteração na temperatura que está sendo controlada. Isso significa que você obterá uma leitura errônea da tensão de saída.

No circuito da Figura 5-9 isso não ocorre. Quando a tensão aplicada diminui, a tensão no ponto *a* diminui. Entretanto, a tensão no ponto *b* também diminui no mesmo valor. A diferença entre a tensão nos pontos *a* e *b* permanece a mesma. Portanto *E* não varia quando a tensão aplicada varia.

Como funciona uma Ponte em Corrente Alternada?

Em vez de usar uma tensão contínua para operar um circuito de ponte, você pode usar uma tensão em corrente alternada, conforme indicado na Figura 5-11. Quando uma tensão em corrente alternada for usada, os braços das pontes podem ser resistências, capacitâncias ou impedâncias. Na Figura 5-11, um transdutor capacitivo é usado para medir o nível de um líquido. Esse transdutor é semelhante ao indicado na Figura 5-7b (pág. 98). Ele é ligado num dos braços da ponte de corrente alternada. O capacitor variável C_2 é ligado em outro braço. A teoria básica de operação continua a mesma. Se a ponte estiver balanceada, não haverá tensão alternada de saída *e*. Vamos supor que essa é a condição quando o tanque estiver cheio. Conforme o tanque começa a esvaziar-se, a capacitância de C_1 muda. Isso faz com que a ponte se torne desbalanceada e produza uma alteração na tensão de saída *e*.

A tensão de saída pode ser usada no circuito de controle para enchimento do tanque, ou como um medidor calibrado para mostrar qual a quantidade de líquido no tanque.

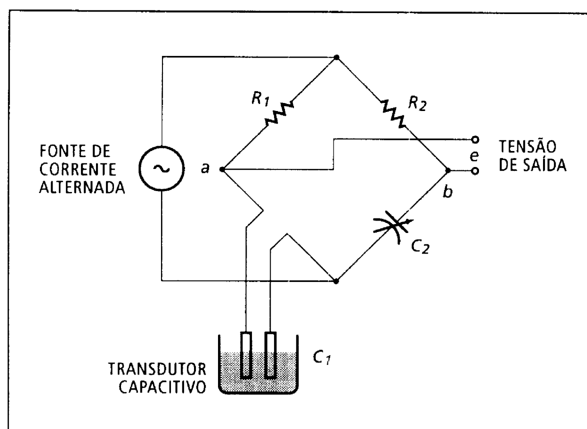


Fig. 5-11: Um circuito alternado em ponte.

RESUMO

1. Uma ponte de Wheatstone pode ser usada para medir um valor desconhecido de resistência.
2. O circuito da ponte de Wheatstone pode também ser usado como um circuito de saída de um transdutor.
3. Uma das vantagens de usar a ponte de Wheatstone para um transdutor é que a tensão de saída não será afetada por mudanças na tensão de alimentação.
4. Com o circuito da ponte de Wheatstone pode ser usada uma tensão de alimentação contínua ou alternada.
5. Se transdutores capacitivos ou indutivos forem usados como um dos braços da ponte, a tensão da alimentação deve ser alternada.

Alguns exemplos de Transdutores Ativos

Os transdutores ativos produzem uma tensão de saída que depende muito do valor da energia de entrada. Em alguns casos, a tensão pode ser suficiente para ser usada sem um amplificador. Na maioria dos casos, porém, amplificadores são usados para converter as tensões fracas de sinal dos transdutores ativos em grandes variações de energia necessárias para operar alguns dispositivos (como, por exemplo, um relé de um motor).

Nessa seção você irá aprender algumas maneiras de usar transdutores ativos. Não é possível descrever todas as maneiras num único livro, de modo que você deve lembrar de que esses são apenas alguns exemplos.

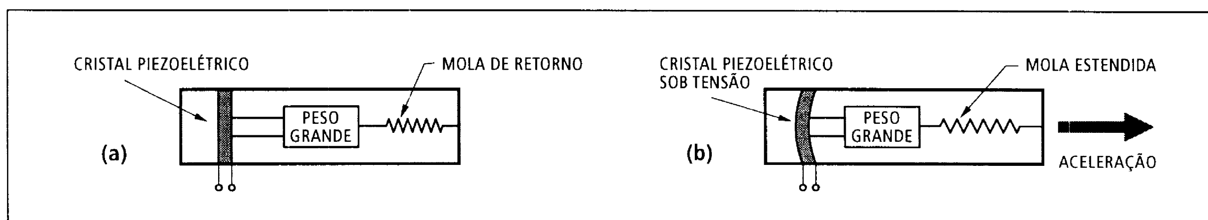
Como é usado um Transdutor Piezoelétrico?

Um transdutor *piezoelétrico* gera uma tensão que está diretamente relacionada com o valor da força ou da pressão de entrada num cristal. A Figura 5-12 mostra como um transdutor pode ser usado como sensor para aceleração.

Um *acelerômetro* é um transdutor projetado para operar como sensor de aceleração. No sentido científico da palavra, *aceleração* é a taxa de mudança de velocidade.

No acelerômetro da Figura 5-12, um cristal piezoelétrico é usado como elemento sensor. Um peso importante apóia-se contra o cristal. Conforme pode ser visto na Figura 5-12a, não há tensão de saída porque não há esforço sobre o cristal. Quando ocorre uma aceleração, conforme indicado na Figura 5-12b, o cristal é submetido a uma pressão. Isso ocorre porque o peso não pode ter aceleração instantânea. A tensão produzida pelo cristal depende do valor da pressão exercida pelo peso. Esta pressão, por sua vez, depende do valor da aceleração.

Fig. 5-12: Um acelerômetro: (a) numa posição de repouso; (b) sob aceleração.



Como é usado um Transdutor Fotoelétrico?

Um transdutor fotoelétrico pode ser tanto ativo como passivo. Com o tipo passivo, alterações na energia luminosa produzem alterações na resistência. Este é o princípio do *transdutor fotoresistivo,* mostrado na Figura 5-5c (pág. 97).

Um transdutor fotoelétrico ativo produz uma tensão de saída que depende da intensidade da luz. As *fotocélulas* são exemplos de transdutores fotoelétricos ativos. Para as aplicações descritas nessa seção, o fototransdutor pode ser ativo ou passivo. O projetista é quem faz sua escolha.

A Figura 5-13 mostra como os transdutores fotoelétricos podem ser usados para ler fitas perfuradas. Esses tipos de fitas são usados para controlar máquinas. Os furos são impressos na fita. É usado um código especial para fazer esses furos.

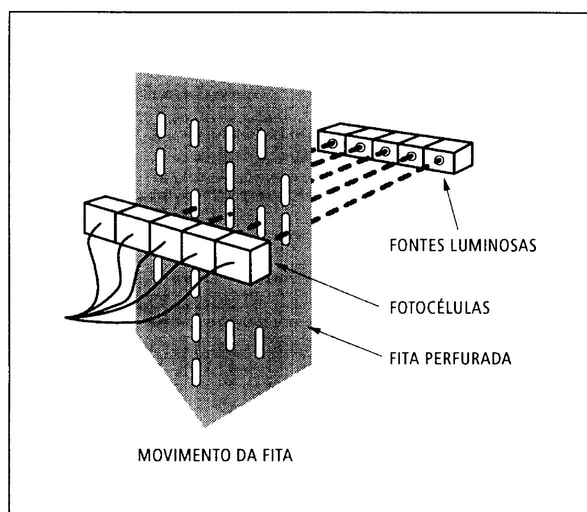


Fig. 5-13: Leitor de fita perfurada.

Conforme a fita passa pelas células fotoelétricas, a luz passa através dos furos. Tensões são produzidas nas células fotoelétricas. Essas tensões são relacionadas com os furos, de modo que podem também ser relacionadas ao código da fita. Na posição indicada, a luz está passando através de quatro furos e atingindo quatro das células fotoelétricas. Quando essas quatro células fotoelétricas geram uma tensão, o código pode significar que a máquina deve parar, ou pode significar que ela deve mudar de velocidade. Em outras palavras, o código instrui a máquina a fazer alguma coisa.

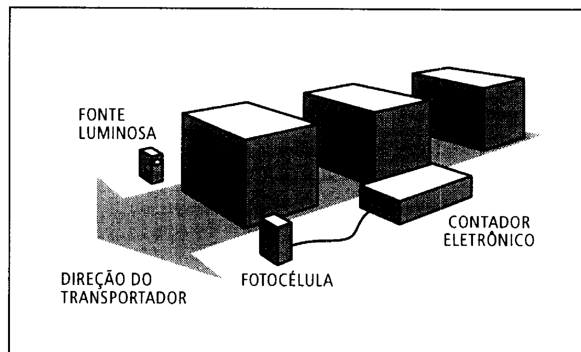


Fig. 5-14: Sistema de contagem numa linha de montagem.

A Figura 5-14 mostra como células fotoelétricas podem ser usadas numa linha de montagem para contar caixas ou outros objetos. Conforme a caixa passa entre a luz e a célula fotoelétrica, a tensão de saída da célula fotoelétrica cai a zero. O contador elétrico é ligado de tal forma que, quando isto ocorre, um dígito é adicionado ao total.

Como é usado um Transdutor Eletromagnético?

Um transdutor eletromagnético opera deslocando um campo magnético sobre um condutor. Não importa se o campo magnético, é deslocado através do condutor ou se o condutor é deslocado através do campo magnético. Em ambos os casos haverá sempre uma tensão produzida.

O valor da tensão depende da velocidade com a qual o campo magnético desloca-se sobre o condutor. Depende também do número de condutores. Em outras palavras, deslocando dois condutores através de um campo magnético, mais tensão será produzida do que deslocando um só condutor.

Você lembrará que um tacômetro é um transdutor usado para medir a velocidade do motor. A Figura 5-15 mostra um exemplo de um tacômetro eletromagnético. Dois ímãs permanentes estão localizados numa roda de alumínio. Conforme cada ímã passa através da bobina, uma tensão é induzida. Isto porque o campo magnético está se deslocando sobre o condutor. O número de impulsos por minuto pode ser contado eletronicamente e dividido por dois (porque neste caso existem dois impulsos por revolução), e a velocidade em revoluções por minuto (r/min) pode ser indicada em *display* ou registrada. Dois ímãs são usados a fim de manter a roda balanceada.

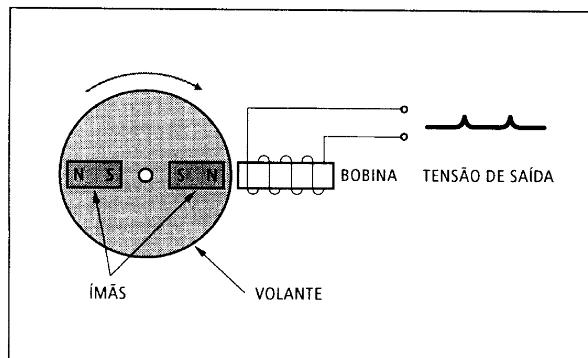
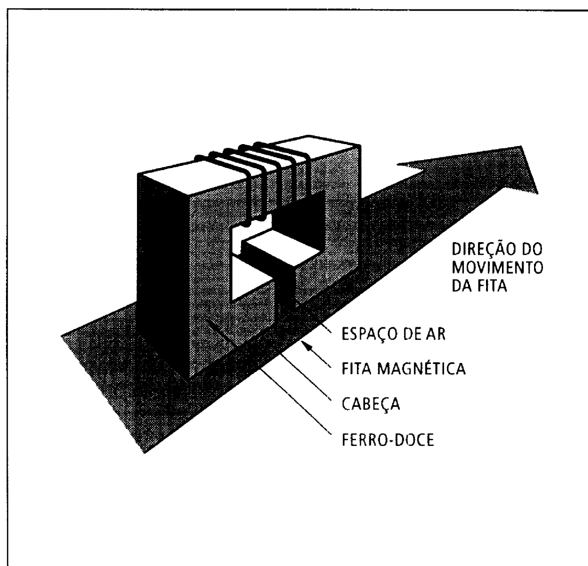


Fig. 5-15: Exemplo de tacômetro.

Em vez de usar uma fita perfurada, vista na Figura 5-13, alguns sistemas de controle eletrônico usam uma fita magnética. A Figura 5-16 mostra como conseguir a informação por meio da fita magnética. Apesar de haver apenas uma cabeça indicada, seria prática comum usar oito cabeças. Isto fornecerá oito entradas. Observe também que existem oito entradas na fita perfurada da Figura 5-13.

A superfície da fita magnética é magnetizada em certos pontos ao longo do comprimento da fita. Os campos magnéticos nessa fita fazem o mesmo serviço que os furos na fita perfurada. A fita é deslocada contra a cabeça e, quando um ponto magnetizado passa no espaço de ar, o fluxo magnético desloca-se através do núcleo de ferro-doce.

Fig. 5-16: Leitor de fita magnética.



Esse fluxo magnético corta a bobina em volta da cabeça e gera uma tensão na mesma.

A fita da Figura 5-16 é semelhante ao sistema usado com seus gravadores de fita caseiros. Neste caso, os campos magnéticos na fita são relacionados ao som ou voz em vez de um código. É importante comparar os dois sistemas de fita nas Figuras 5-13 e 5-16. Existem apenas duas tensões de saída em cada sistema. Pode ser uma tensão de 0 volt correspondente à não-existência de furo na fita perfurada ou não-existência de campo magnético na fita magnética, ou pode haver uma tensão da saída máxima, correspondente ao furo na fita perfurada ou a um ponto magnético na fita magnética. Portanto a saída pode ter apenas duas condições possíveis: *tensão máxima* ou *tensão 0 volt*. Não existem níveis diferentes de tensão, como você teria, por exemplo, numa fita para gravar música.

Como é usado um Transdutor Termoelétrico?

O transdutor visto no sistema da Figura 5-3 (pág. 96) alimenta um circuito de ponte. O circuito de ponte é necessário para um transdutor passivo. No lugar desse arranjo, o gerador termoelétrico (como por exemplo um termopar) poderia ser usado como sensor. Este tipo de sensor é mostrado na Figura 5-2f (pág. 95). Se tivesse sido usado no sistema da Figura 5-3, a saída seria uma tensão. Você precisaria ainda de um amplificador para aumentar a intensidade da tensão de saída. Entretanto, você não precisaria do circuito de ponte. O restante do sistema permaneceria inalterado.

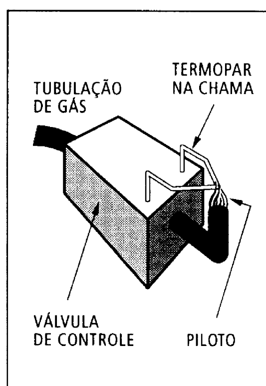


Fig. 5-17: Aplicação de um transdutor termoelétrico.

A Figura 5-17 mostra outro uso de um transdutor termoelétrico. Nesse caso uma chama piloto é usada para acender um sistema de aquecimento a gás. A chama aquece também a junção do termopar. A tensão de saída do termopar mantém a válvula de controle aberta. Se por alguma razão a chama se apaga, a tensão do termopar será reduzida a 0 volt e a válvula de controle fechará o gás. Isso impede o escape do gás dentro da sala, quando a chama piloto estiver aberta.

Como funcionam os Microfones e os Alto-Falantes?

Um microfone é um transdutor que converte ondas sonoras em ondas elétricas. As ondas elétricas podem ser amplificadas em sistemas eletrônicos e ouvidas usando-se um alto-falante.

Um alto-falante é um transdutor que converte impulsos elétricos em ondas sonoras. Já que o microfone produz uma tensão relacionada com um som, é possível ao transdutor ser tanto transdutor passivo quanto ativo. Os alto-falantes devem ser transdutores passivos, já que sua saída destina-se a produzir ondas sonoras. Lembre-se de que um transdutor ativo deve produzir uma tensão de saída relacionada a alguma entrada.

Como funciona um Microfone?

A Figura 5-18 mostra o funcionamento de três tipos de microfones. O microfone de carvão da Figura 5-18a possui um grande número de grânulos de carvão dentro de um pequeno invólucro. Quando esses grânulos forem comprimidos, sua resistência se tornará baixa. Quando forem soltos, sua resistência se tornará alta. A resistência varia entre esses valores quando as ondas sonoras atingem o diafragma.

As ondas sonoras fazem o diafragma do microfone deslocar-se para trás e para frente. Esse movimento faz com que os grânulos sejam comprimidos e em seguida soltos. A resistência dos grânulos de carvão depende sempre da posição do diafragma. Isso provoca a mudança da corrente do circuito porque a corrente depende da resistência. Desde que a corrente varie com as ondas sonoras, isso pode ser chamado de *corrente de áudio*.

Quando a corrente de áudio flui através do resistor *R*, existe uma tensão de áudio sobre *R*. Essa tensão de áudio pode ser amplificada e usada conforme necessário.

O microfone de carvão é um exemplo de transdutor passivo. Por si mesmo não pode produzir uma tensão de saída. É necessário ter uma fonte de tensão contínua para obter corrente através de *R*. Essa corrente é necessária para produzir a tensão de áudio.

A Figura 5-18b mostra o princípio do microfone de cristal. O cristal é um material piezoetétrico que gera uma tensão quando é submetido à pressão. A pressão das ondas sonoras que deslocam o diafragma para frente e para trás provoca a vibração do cristal, o que produz uma tensão de saída. A tensão de saída está diretamente relacionada com a onda sonora que inside sobre o microfone. O microfone de cristal é um transdutor ativo, porque pode produzir uma tensão de saída por si mesmo.

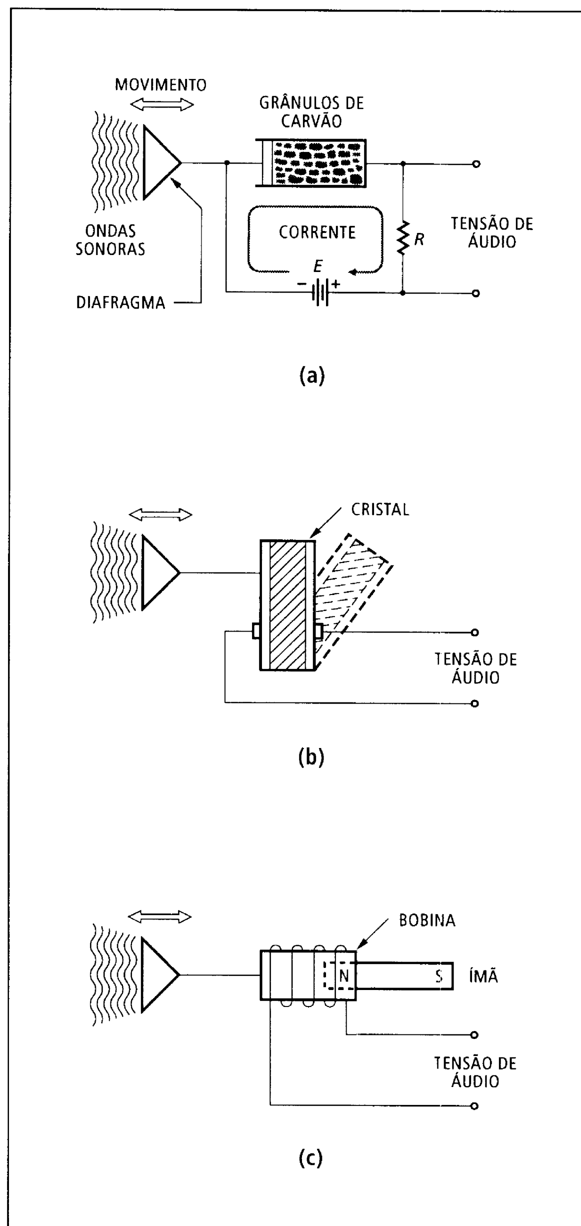
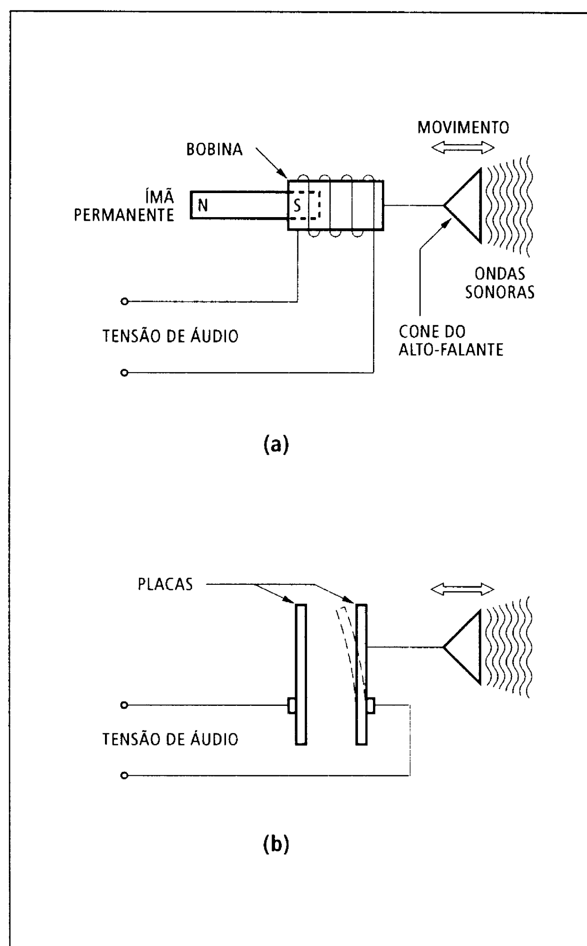


Fig. 5-18: Microfone: (**a**) a carvão; (**b**) a cristal; (**c**) dinâmico.

A Figura 5-18c mostra como funciona um microfone dinâmico. Nesse caso o diafragma é ligado a uma bobina enrolada sobre um tubo isolado muito leve. A forma da bobina é redonda, e ela se desloca sobre um ímã permanente. Conforme as ondas sonoras incidem sobre o diafragma, o mesmo desloca a bobina para trás e para frente no campo magnético. Isso faz com que seja induzida uma tensão de áudio na bobina, já que uma tensão é sempre gerada quando condutores são deslocados dentro de um campo magnético (lei de Faraday). A tensão de áudio está diretamente relacionada com as ondas sonoras que deslocam o diafragma. Este também é um transdutor ativo.

Os três tipos de microfones indicados na Figura 5-18 são usados em muitos sistemas eletrônicos.

Fig. 5-19: Alto-falantes: (**a**) dinâmicos; (**b**) eletrostáticos.



Como funcionam os Alto-Falantes?

A Figura 5-19 mostra dois tipos de alto-falantes usados em sistemas eletrônicos.

A Figura 5-19a mostra como funciona um *alto-falante dinâmico*. Seu funcionamento é baseado no fato de que, quando uma corrente flui através de um condutor ou uma bobina, produz-se um campo magnético. Se uma corrente de áudio fluir através da bobina, o campo magnético variável da bobina reagirá com o campo do ímã permanente. Isso faz com que o cone do alto-falante se desloque para trás e para frente produzindo alterações na pressão do ar. As mudanças resultantes na pressão do ar são as ondas sonoras que produzem o som em seu ouvido.

A Figura 5-19b mostra os componentes de um *alto-falante eletrostático*. Este alto-falante é formado por duas placas semelhantes às placas de um capacitor. Uma das placas está fixa e a outra livre. Quando uma tensão de áudio for aplicada aos terminais do alto-falante, as duas placas serão carregadas com polaridades diferentes. A placa móvel é atraída para a placa fixa, já que cargas opostas se atraem. As linhas pontilhadas mostram a posição da placa móvel durante os valores de picos de tensão. O cone volta para a posição original quando a tensão estiver em seu valor mínimo.

Quando uma tensão de áudio for aplicada, o cone se deslocará para trás e para frente e produzirá as ondas sonoras.

RESUMO

1. Os transdutores piezoelétricos convertem uma força ou uma pressão em tensão.
2. Os transdutores fotoelétricos convertem a intensidade luminosa em tensão.
3. Os transdutores eletromagnéticos convertem o movimento em tensão.
4. Os transdutores termoelétricos convertem o calor em tensão.
5. Um microfone pode ser um transdutor passivo ou ativo.
6. Um alto-falante é um transdutor passivo.

PERGUNTAS DE REVISÃO PROGRAMADA

(As instruções para o uso desta seção de revisão programada são fornecidas no Capítulo 1 / pág. 8.)

Iremos rever os conceitos importantes deste capítulo. Se você entendeu o material, poderá progredir facilmente por meio desta seção. Não pule este material porque nele apresentamos algumas informações teóricas adicionais.

1 **Qual das informações abaixo constitui um exemplo de sistema de controle em circuito fechado?**

A **O controle termostático numa casa onde a temperatura de uma sala é mantida em um valor constante**
(passe para o item 9).
B **Um termistor ligado num circuito de ponte**
(passe para o item 17).

2 *A resposta correta para a pergunta no item 18 é A. Quando a ponte é balanceada, não há tensão sobre o braço central.* Aqui está a próxima pergunta:

A capacidade de executar um trabalho é definida como:

A **Transdução**
(passe para o item 14).
B **Energia**
(passe para o item 20).

3 *A resposta correta para a questão no item 22 é A. A célula fotoelétrica é um exemplo de um transdutor obtido pelo método fotoelétrico de geração de uma tensão. O método químico não é comumente usado.* Aqui está a próxima pergunta:

Qual das alternativas abaixo pode ser um exemplo de um transdutor ativo?

A **Um termistor**
(passe para o item 21).
B **Um tacômetro**
(passe para o item 27).

4 *Se sua resposta para a pergunta no item 19 é A, está errada. Reveja a descrição do transdutor LED no Capítulo 2 e, em seguida,* passe para o item 10.

5 *Se sua resposta para a pergunta no item 20 é B, está errada. Um acelerômetro não mede alterações em aceleração. Pelo contrário, mede alterações em velocidade.* Passe para o item 26.

6 *A resposta correta para a pergunta no item 27 é A. Um sensor de deformação produz uma alteração na resistência relacionada com a amplitude da torção ou distorção produzida. Isso é chamado deformação. O esforço é a força que produz a deformação.* Aqui está a próxima pergunta:

Qual das alternativas abaixo não está correta?

A **Circuitos em ponte devem ser alimentados com tensão contínua**
(passe para o item 18).
B **Circuitos em ponte podem ser alimentados com tensão alternada ou contínua**
(passe para o item 24).

7 *A resposta correta para a pergunta no item 9 é A. Um transdutor ativo gera uma tensão que depende da energia de entrada. Alto-falantes não geram tensão, de modo que não são transdutores ativos.* Aqui está a próxima pergunta:

Outro nome para um transdutor é:

A **Um sensor**
(passe para o item 19).
B **Um elemento de circuito passivo**
(passe para o item 25).

8 *Se sua resposta à pergunta no item 18 é B, está errada. Reveja o material no capítulo sobre a ponte de Wheatstone e, em seguida,* passe para o item 2.

9 *A resposta correta à pergunta no item 1 é A. O controle termostático numa casa é muito parecido com o sistema de controle de temperatura mostrado na Figura 5-3, que é um sistema de controle em circuito fechado.*
Aqui está a próxima pergunta:

Um alto-falante é um exemplo de

A **Transdutor passivo**
(passe para o item 7).
B **Transdutor ativo**
(passe para o item 13).

10 *A resposta correta à pergunta no item 19 é B. O LED (diodo emissor de luz) foi discutido no Capítulo 2. Ele é um transdutor porque produz energia luminosa como resultado da aplicação de energia elétrica. E passivo porque não gera uma tensão.* Aqui está a próxima pergunta:

Qual dos seguintes tipos de transdutores é normalmente usado com um circuito de ponte?

A **Um transdutor ativo**
(passe para o item 16).
B **Um transdutor passivo**
(passe para o item 22).

11 *Se sua resposta para a pergunta no item 26 é A, está errada. Os cristais piezoelétricos geram uma tensão quando submetidos à pressão.*
Passe para o item 23.

12 *Se sua resposta para a pergunta no item 27 é B, está errada. Estude a Figura 5-5f e, em seguida,* passe para o item 6.

13 *Se sua resposta para a pergunta no item 9 é B, está errada. Os alto-falantes não geram tensão.* Passe para o item 7.

14 *Se sua resposta à pergunta no item 2 é A, está errada. Transdução é uma palavra que significa "o ato de transferir". Não é comumente usada para significar energia.* Passe para o item 20.

15 *Se sua resposta para a pergunta no item 22 é B, está errada. Pelo método químico de geração de uma tensão, dois metais diferentes são imersos numa solução ácida ou básica e uma tensão é gerada. Essa não é uma maneira comum de produzir um transdutor ativo.* Passe para o item 3.

16 *Se sua resposta para a pergunta no item 10 é A, está errada. Um circuito de ponte é usado com transdutores passivos.* Passe para o item 22.

17 *Se sua resposta para a pergunta no item 1 é B, está errada. Um termistor é um componente passivo normalmente ligado num circuito de ponte. Esse não é um exemplo de sistema em circuito fechado.* Passe para o item 9.

18 *A resposta correta para a pergunta no item 6 é A. A ponte de Wheatstone é geralmente alimentada com tensão contínua, enquanto pontes de capacitância e indutância são usadas com fontes de tensão alternada.* Aqui está a próxima pergunta.

Quando o circuito de ponte estiver balanceado a tensão sobre o braço central é

A **0 volt**
(passe para o item 2).
B **Máxima**
(passe para o item 8).

19 *A resposta correta para a pergunta no item 7 é A. Transdutores são chamados* ***sensores*** *porque são usados para sentir mudanças de energia em algum sistema.* Aqui está a próxima pergunta:

Um LED é um exemplo de:

A **Transdutor ativo**
(passe para o item 4).
B **Transdutor passivo**
(passe para o item 10).

20 *A resposta correta para a pergunta no item 2 é B. Na introdução desse capítulo, "energia" foi definida como a capacidade de realizar trabalho.*
Aqui está a próxima pergunta:

Um acelerômetro é um transdutor usado para realizar uma mudança na:

A **Velocidade**
(passe para o item 26).
B **Aceleração**
(passe para o item 5).

21 *Se sua resposta para a pergunta no item 3 é A, está errada. Um termistor é um resistor sensível à temperatura. Os resistores são elementos passivos em circuitos.* Passe para o item 27.

22 *A resposta correta para a pergunta no item 10 é B. Um transdutor ativo é às vezes chamado de transdutor "autogerador". Os transdutores passivos (não-geradores) são freqüentemente ligados em circuitos de ponte.* Aqui está a próxima pergunta:

Qual dos seguintes métodos para gerar uma tensão é normalmente usado para produzir transdutores?

[A] **Fotoelétrico** (passe para o item 3).
[B] **Químico** (passe para o item 15).

23 *A resposta correta para a pergunta no item 26 é B. O método de geração de uma tensão através de movimento entre um condutor e um campo magnético é, às vezes, chamado* ***método mecânico****. Esse método é usado para produzir energia industrial e por outros grandes sistemas energéticos. O gerador ou alternador usado em sistemas elétricos automotivos também usa esse método para gerar uma tensão.*

Quartzo, turmalina, sal de Rochelle, titanato de bário e zirconato de chumbo são exemplos de materiais que apresentam efeitos piezoelétricos. Aqui está a sua próxima pergunta:

No circuito de ponte da Figura 5-20, um resistor variável R_3 é ajustado para balancear a ponte. A ponte é balanceada quando R_3 = 10 kilohms.

Qual é o valor do resistor de R_X?

....

(Depois de ter calculado o valor R_X, passe para o item 28.)

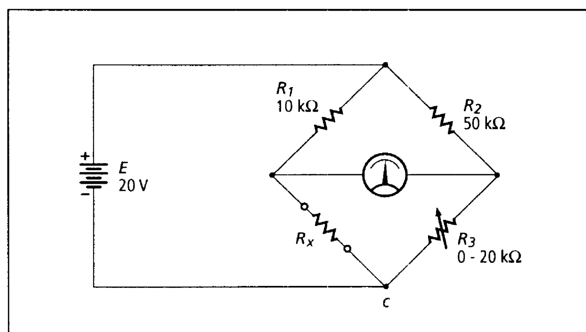


Fig. 5-20: Circuito para a pergunta do item 23.

24 *Se sua resposta para a pergunta no item 6 é B, está errada. A pergunta é: qual das duas afirmações* ***não*** *está certa? Leia novamente a pergunta* e em seguida passe para o item 18.

25 *Se sua resposta para a pergunta no item 6 é B, está errada. Um transdutor pode ser um elemento passivo de circuito. (Um elemento passivo de circuito é um componente que não gera tensão.) Este não é um outro nome para um transdutor.* Passe para o item 19.

26 *A resposta correta para a pergunta no item 20 é A. A aceleração é definida como a taxa de mudança de velocidade. Isso é o que um acelerômetro mede.* Aqui está a próxima pergunta:

Quando uma pressão é exercida sobre certos tipos de cristais, gera-se uma tensão. Isso é chamado:

[A] **Método mecânico de geração de uma tensão** (passe para o item 11).
[B] **Método piezoelétrico de geração de uma tensão** (passe para o item 23).

27 *A resposta correta para a pergunta no item 3 é B. Um tacômetro mede a velocidade de um motor. Uma maneira de fazê-lo é ligar um pequeno gerador de corrente alternada ou contínua na saída do motor a fim de que a tensão gerada esteja relacionada com a velocidade do motor. Existem outros meios de se produzir tacômetros, de modo que a pergunta do item 3 diz "qual dos seguintes métodos pode ser um exemplo de um transdutor ativo". Termistores são sempre passivos.* Aqui está a próxima pergunta:

Certo componente é produzido de tal forma que uma força externa altera sua resistência. Este é:

[A] **Um sensor de deformação** (passe para o item 6).
[B] **Um sensor de esforço** (passe para o item 12).

28 *Um resistor desconhecido tem um valor de 2 kilohms. O valor é determinado como segue:*

$$R_x = \frac{R_1 \times R_3}{R_2}$$

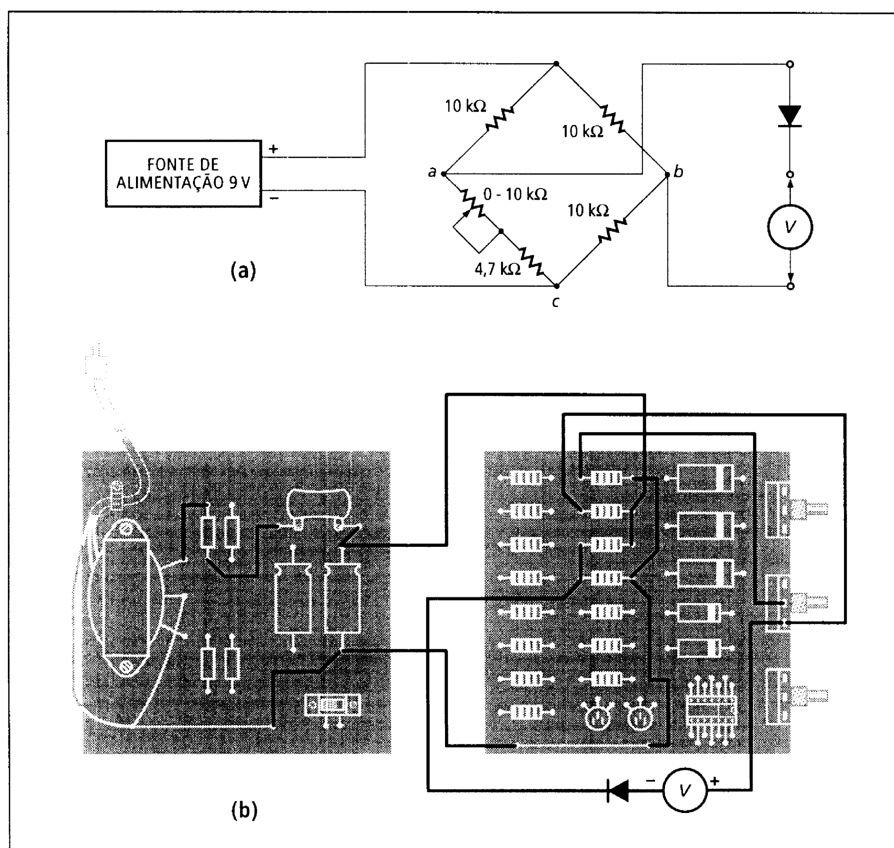
$$= \frac{10 \text{ kilohms} \times 10 \text{ kilohms}}{50 \text{ kilohms}}$$

$$= \frac{100 \text{ kilohms}}{50 \text{ kilohms}}$$

= **2 kilohms** Resposta

Você completou agora as perguntas de revisão programada. O próximo passo consiste em pôr algumas dessas idéias em prática em experiências de laboratório. Passe para a seção de experiências deste capítulo.

Fig. 5-21: Montagem de teste para a primeira parte da experiência: (**a**) diagrama esquemático; (**b**) diagrama chapeado.



EXPERIÊNCIAS

(As experiências descritas nesta seção podem ser realizadas na placa de circuitos descrita no Anexo C ou numa montagem de laboratório similar.)

■ FINALIDADE

Na primeira parte dessa experiência você mostrará que existe uma tensão de saída num circuito de ponte quando a mesma estiver desbalanceada. Na segunda parte será mostrado como um feixe de luz pode ser usado para controlar uma carga como, por exemplo, uma lâmpada ou um motor.

PRIMEIRA PARTE

■ TEORIA

A Figura 5-21a mostra o diagrama esquemático de um circuito de ponte com um resistor ajustável em um dos braços da ponte. Não haverá tensão de saída quando o resistor variável for ajustado, de modo que a resistência total do braço *ac* seja igual a 10 kilohms. O diagrama chapeado está indicado na Figura 5-21b. Um voltímetro pode ser usado para medir a tensão de saída da ponte. Porém, um diodo deve ser colocado em série com o voltímetro, uma vez que pode ocorrer uma reversão de polaridade na tensão de saída.

Em outras palavras, a tensão no ponto *a* pode ser positiva ou negativa em relação à tensão no ponto *b*, dependendo de o braço *ac* ter resistência maior que 10 kilohms ou menor que 10 kilohms. O diodo impede que uma tensão reversa danifique o voltímetro.

O resistor em série com o resistor variável impede a resistência no braço *ac* de ser ajustado a um ponto em que o desbalanceamento seja tão grande

que o mesmo produza uma tensão excessiva de saída. Isso ajuda a proteger também o voltímetro.

MONTAGEM DO TESTE

Ligar o circuito conforme indicado na Figura 5-21. A Figura 5- 21a mostra um diagrama esquemático do circuito, e a Figura 5-21b mostra o diagrama chapeado.

PROCEDIMENTO

☐ *Etapa 1:* Ajustar o resistor variável até obter uma leitura da tensão no voltímetro. Em seguida, ajustar o resistor muito cuidadosamente até que o voltímetro indique 0 volt. Qual valor deveria ter a resistência do resistor variável para que fosse obtida uma tensão de saída igual a zero?

....

Depois de ter ajustado o resistor variável para obter uma tensão de saída igual a zero, removê-lo da ponte e medir sua resistência com um ohmômetro.

Anotar seu valor.

....

(O valor deveria ser de aproximadamente 5 kilohms. Quando o resistor variável for ajustado a um valor de 5 kilohms, o braço da ponte *ac* terá uma resistência total de 10 kilohms. Isto fará com que a ponte esteja balanceada.)

CONCLUSÃO

Alterando a resistência de um braço da ponte provoca-se a alteração da tensão de saída. Se um transdutor resistivo for usado no lugar de um resistor variável, a tensão de saída irá então variar com as alterações na resistência do transdutor.

SEGUNDA PARTE

TEORIA

Um resistor fotocondutor é um transdutor passivo. Sua resistência aumenta quando não está exposto à luz e abaixa quando está.

O valor da variação de resistência é relativamente pequeno, de modo que é necessário usar um amplificador para torná-lo um transdutor de controle mais sensível. A Figura 5-22 mostra o circuito.

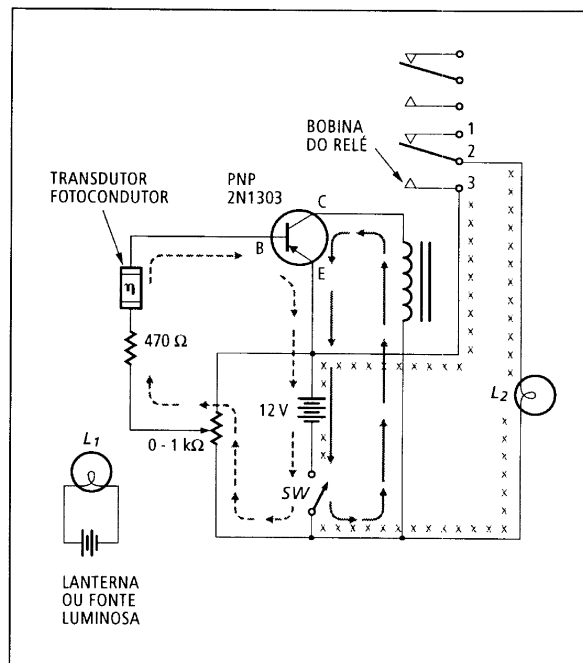


Fig. 5-22: Montagem do teste para a segunda parte da experiência.

No Capítulo 3 você aprendeu que um transistor PNP irá conduzir corrente quando seu coletor e sua base são negativos em relação ao seu emissor. As setas na Figura 5-22 mostram os caminhos para a corrente do coletor (setas cheias) e para a corrente da base (setas pontilhadas) quando o interruptor *S* está fechado. Observe que a corrente do coletor flui através da bobina do relé.

Quando não existe incidência de luz sobre o resistor fotocondutor, a resistência do circuito da base é elevada. Isso significa que a corrente da base é baixa. Com corrente na base baixa, a corrente do coletor também é baixa e o relé não pode ser energizado.

Quando a luz brilha sobre o resistor fotocondutor, sua resistência diminui. Isso aumenta a corrente da base e causa um aumento importante na corrente do coletor. A corrente do coletor é agora suficiente para energizar o relé.

Quando o relé é energizado, a fonte de alimentação de 12 volts é ligada à lâmpada L_2 através dos contatos do relé. Siga o circuito começando em L_2, passando através da bateria e do interruptor, e também através dos contatos do relé (1 e 3) e de volta para L_2. Este caminho está indicado por *x*. Observe que, quando o interruptor *S* e os contatos do relé são fechados, a lâmpada L_2 está LIGADA.

Apesar de o circuito ser usado para acender uma lâmpada, a saída poderia ser usada para ligar um motor. Fazer brilhar uma luz sobre o resistor fotocondutor faria o motor girar.

■ MONTAGEM DO TESTE

Ligar o circuito conforme indicado na Figura 5-22. Use uma fonte de alimentação de corrente contínua em vez de uma bateria. Tenha bastante cuidado ao fazer as ligações da fonte de alimentação com o interruptor DESLIGADO e verifique a os terminais positivos estão ligados nos pontos corretos.

■ PROCEDIMENTO

☐ *Etapa 1:* Fechar o interruptor *S*. Ajustar o resistor 0-1 kilohm de modo que L_2 esteja ligada quando L_1 estiver a alguns centímetros do resistor fotocondutor.

☐ *Etapa 2:* Deslocar a lâmpada L_1 até o relé, abrir e a lâmpada L_2 ficar DESLIGADA.

☐ *Etapa 3:* Ligar novamente os contatos do relé de modo que a lâmpada L_2 esteja LIGADA quando o resistor fotocondutor não estiver exposto à luz. Você pode realizar isso deslocando o fio do terminal 3 para o terminal 1 do relé. Mostre que, quando L_1 é aproximado do resistor fotocondutor, a lâmpada L_2 fica DESLIGADA.

■ CONCLUSÃO

O resistor fotocondutor é um transdutor passivo. Sua resistência depende da intensidade de luz que incide sobre ele. (O circuito da Figura 5-22 seria melhorado se o transdutor estivesse ligado sem circuito de ponte.)

O amplificador torna o sistema mais sensível às mudanças na intensidade da luz e isto permite que uma pequena variação na intensidade da luz ligue e desligue uma carga.

AUTOTESTE COM RESPOSTAS

(As respostas com discussões encontram-se no final do capítulo / pág. 112.)

1. A capacidade de realizar trabalho é chamada:

(a) energia;

(b) potência.

2. A realização de medições de uma posição remota é chamada:

(a) controle remoto;

(b) translação;

(c) reflexão;

(d) telemetria.

3. Um transdutor que não gera uma tensão é chamado:

(a) ativo;

(b) passivo;

(c) invertido;

(d) uma ponte.

4. Qual dos seguintes métodos de geração de uma tensão não é usado em transdutores ativos?

(a) Piezoelétrico;

(b) Termoelétrico;

(c) Atrito;

(d) Fotoelétrico.

5. A fonte de alimentação usada com uma ponte no circuito de saída de um transdutor passivo:

(a) deve ser corrente alternada;

(b) deve ser corrente contínua;

(c) pode ser corrente alternada ou corrente contínua;

(d) não pode ter uma tensão de saída maior que 10 volts.

6. Um transdutor capacitivo funciona de tal forma que uma força externa afasta ou aproxima as placas uma da outra. Se as placas forem afastadas, a capacitância

(a) aumenta;

(b) diminui.

7. Uma vantagem de usar um circuito de ponte para a saída de um transdutor passivo é:

(a) custo mais baixo;

(b) menor demanda de potência da fonte de alimentação;

(c) uma saída que não é sensível a mudanças na tensão da fonte de alimentação.

8. Num sistema de controle, os comandos para operação de máquina podem ser sobre fita magnética ou

(a) fita perfurada;

(b) resistor variável.

9. Qual dos seguintes não é um tipo de microfone discutido neste capítulo?

(a) Eletrostático;

(b) Carvão;

(c) Dinâmico;

(d) Cristal.

10. Um tacômetro é usado como sensor de

(a) temperatura;

(b) energia luminosa;

(c) velocidade de motor;

(d) pressão.

RESPOSTAS PARA O AUTOTESTE

1. (a) - Potência é a taxa de gasto de energia ou a taxa de realização de um trabalho.

2. (d) - Essa é uma definição de telemetria.

3. (b) - O termo *passivo é* também usado para todos os componentes que não geram uma tensão.

4. (c) - Dois métodos para gerar tensão num transdutor são raramente usados: por atrito e químico.

5. (c) - Se a ponte tiver componentes reativos (indutores ou capacitores), a fonte de alimentação deve ser de corrente alternada. Se a ponte possui nos braços apenas resistências puras, a fonte de alimentação pode ser de corrente alternada ou contínua.

6. (b) - Lembre-se deste ponto importante sobre capacitores: quanto mais próximas uma da outra forem as placas, maior será a capacitância.

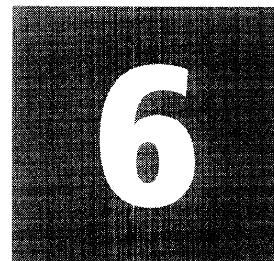
7. (d) - A ponte não é sensível às mudanças na tensão da fonte de alimentação. Também, não é sensível às mudanças na temperatura da ponte.

8. (a) - Veja Figura 5-13 (pág. 102).

9. (a) - Veja Figura 5-18 (pág. 104).

10. (c) - Veja Figura 5-15 (pág. 103).

Quais são os circuitos usados em fontes de alimentação eletrônicas?



INTRODUÇÃO

Pelo nome você pode presumir que uma *fonte de alimentação* fornece energia. Porém isso não é correto. Se um equipamento é operado por uma linha de corrente contínua, não é a companhia de energia que fornece a energia. A fonte para alimentação converte a energia em corrente alternada para energia em corrente contínua para operar os componentes eletrônicos.

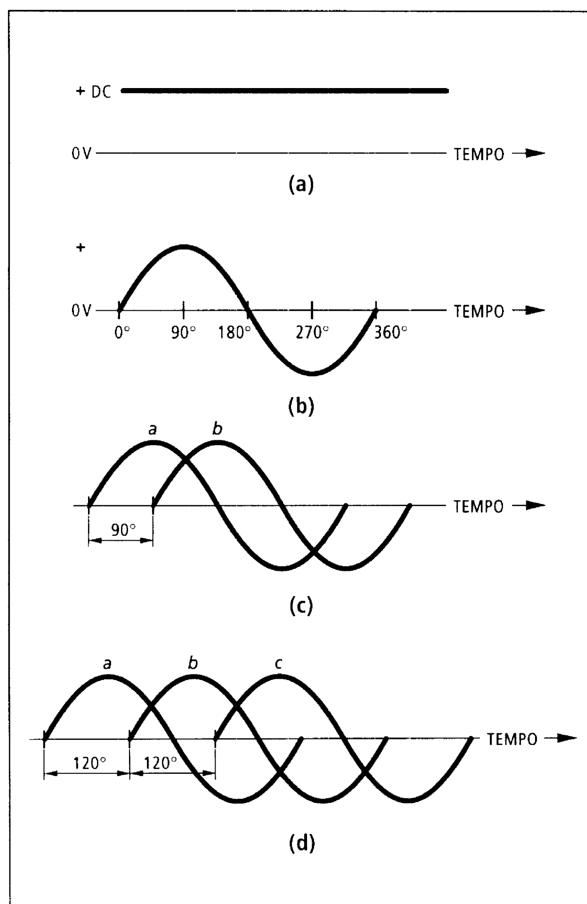


Fig. 6-1: Tipos de corrente usados na indústria: (a) corrente contínua; (b) corrente alternada monofásica; (c) corrente alternada bifásica; (d) corrente alternada trifásica.

A energia apresenta-se geralmente em uma das quatro formas indicadas na Figura 6-1. A energia de corrente contínua pode ser obtida por meio de uma bateria. Em algumas das aplicações industriais a energia em corrente contínua pode ser fornecida por geradores.

A Figura 6-1b mostra um gráfico de energia em *corrente alternada monofásica.* Essa é o tipo de energia fornecido à maioria das casas e é usado em muitas aplicações industriais. Quando a energia é transportada por longas distâncias, ocorre uma queda de tensão ao longo do fio devido a uma resistência do mesmo. Transformadores são colocados ao longo da linha para levar a tensão de volta para o valor desejado. Você pode observar esses grandes transformadores montados sobre postes de distribuição. Essa é a vantagem de usar energia de corrente alternada, em vez de corrente contínua, para fornecimento de energia nas casas. Não seria possível compensar as perdas de tensão ao longo da linha.

Uma desvantagem do sistema monofásico de energia em corrente alternada é que a tensão aplicada cai a zero uma vez a cada meio ciclo. Observe que a tensão é de 0 volt a 0°, 180° e 360°. No instante em que a tensão estiver em zero, não há energia fornecida à carga.

Alguns tipos de motores alternados requerem duas tensões defasadas. Duas tensões são consideradas defasadas se não atingirem seu máximo ao mesmo tempo. As duas tensões podem ser fornecidas para a mesma carga. Essa é chamada *energia bifásica em corrente alternada* e está indicada na Figura 6-1c. As duas fases de tensão são defasadas em 90°.

Neste desenho a onda *a* é adiantada sobre a onda *b* – isto é, está adiante da onda *b* em 90°. Isso significa que, quando *a* está em seu valor máximo, *b* está em seu valor zero, e quando *b* está em seu valor máximo, *a* está em seu valor zero.

Desde que as duas tensões nunca passem a ser zero ao mesmo tempo, existe sempre fornecimento de energia à carga. Essa é uma vantagem em relação a corrente alternada monofásica.

Com fornecimento de energia em corrente trifásica, três tensões diferentes são geradas ao mesmo tempo. Isso pode ser visto na Figura 6-1d. As tensões são defasadas em 120º uma com a outra. A tensão trifásica nunca cai para zero. Conforme a onda *a* cai para zero, a onda *b* aproxima-se de seu pico, e conforme a onda *b* cai para zero, a onda *c* aproxima-se de seu pico. Portanto, ela apresenta a mesma vantagem que o sistema bifásico.

O fornecimento de energia num sistema eletrônico geralmente converte a corrente alternada em corrente contínua, de modo que pode ser chamado *sistema alterador de potência.* Existem somente quatro tipos de sistemas alteradores de potência. Podem ser vistos na Figura 6-2.

Um transformador é usado para transformar a corrente alternada em alguma tensão (ou corrente) determinada para corrente alternada de tensão (ou corrente) diferente. Um sistema retificador é usado para transformar a corrente alternada em corrente contínua.

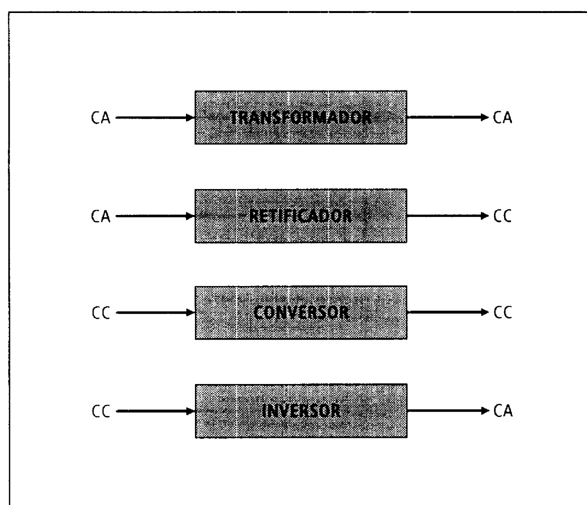


Fig. 6-2: Quatro conversores básicos de energia elétrica.

O retificador é um componente muito importante de uma fonte de alimentação eletrônica. Para mudar uma tensão (ou corrente) contínua para outro valor de tensão (ou corrente) contínua, usa-se um *conversor.* Se tiver disponível uma corrente contínua e quiser transformá-la em corrente alternada, deverá utilizar um circuito chamado *inversor.*

Dos quatro sistemas básicos para mudar a potência mostrados na Figura 6-2, os dois primeiros (transformadores e retificadores) são extensivamente usados em fontes de alimentação eletrônicas.

Nesse capítulo, discutiremos o tipo de sistema de energia que recebe corrente alternada da linha e a transforma em corrente contínua. Esse tipo de sistema é chamado *fonte de alimentação.* Cada sistema eletrônico projetado para operar a partir de uma linha de corrente alternada possui esse tipo de fonte de alimentação.

Depois de estudar este capítulo, você poderá responder às seguintes perguntas:

- **Qual a diferença entre fontes de alimentação não-regulada e fontes de alimentação regulada?**
- **Quais os componentes de uma fonte de alimentação regulada?**
- **Quais os tipos de circuitos usados em fontes de alimentação não-reguladas?**
- **Como os diodos retificadores são ligados em série e em paralelo?**
- **Quais as causas da regulagem deficiente?**
- **Quais os tipos de circuitos usados em reguladores para fontes de alimentação?**
- **Como funciona uma fonte de alimentação eletrônica regulada?**

INSTRUÇÃO

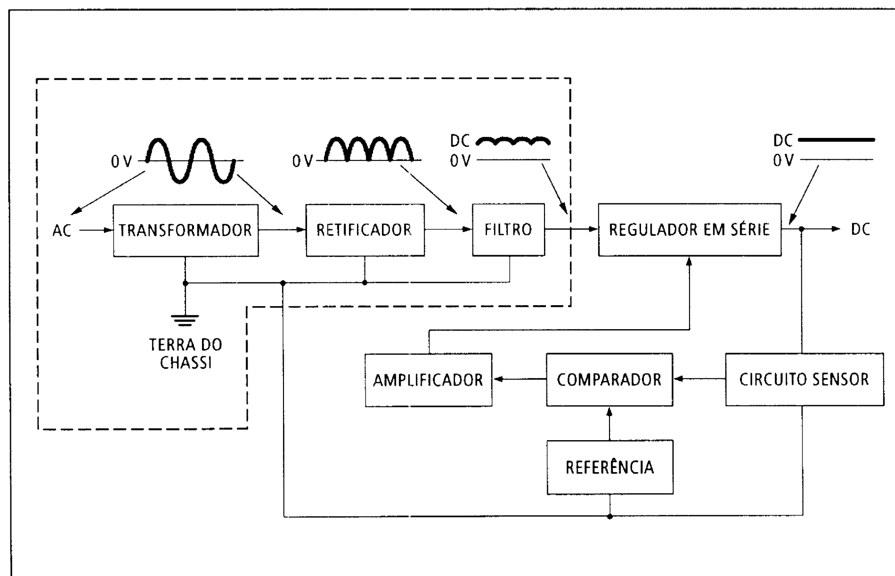
Qual a diferença entre Fontes de Alimentação Não-Reguladas e Fontes de Alimentação Reguladas?

Uma fonte de alimentação não-regulada fornece uma tensão e uma corrente de carga que dependem da resistência da carga. Se o valor da resistência da carga sobre os terminais de um circuito não-regulado for alterado, haverá uma alteração de tensão sobre a carga. Haverá também uma alteração na intensidade da corrente através da carga.

Existem dois tipos de *fontes de alimentação reguladas*. Uma *fonte de alimentação de tensão regulada* possui a mesma tensão de saída independentemente da resistência da carga. Uma *fonte de alimentação de corrente regulada* produz a mesma corrente de saída independentemente da resistência da carga.

Naturalmente, existe um limite para mudar a resistência da carga. Por exemplo, se você colocar um curto circuito (0 ohm) sobre os terminais de saída de uma fonte de alimentação de tensão regulada, a tensão sobre os terminais cairá para zero. (Não pode haver queda de tensão sobre uma resistência de 0 ohm.)

Fig. 6-3: Diagrama de blocos de uma fonte de alimentação eletrônica regulada.



A tensão de saída de uma fonte de alimentação regulada será constante sobre determinada faixa de valores da corrente de carga. O fabricante deve fornecer-lhe essa faixa de valores.

A corrente de saída de uma fonte regulada será constante sobre uma faixa determinada de valores da resistência de carga. Como no caso de fontes com voltagem regulada, o fabricante deve fornecer a faixa de valores.

Quais os Componentes de uma Fonte de Alimentação Regulada?

Começaremos dando-lhe uma visão geral de uma fonte de alimentação de voltagem regulada típica. A Figura 6-3 mostra o sistema em forma de diagrama de blocos.

A energia de entrada da companhia de energia está em corrente alternada. É aplicada no primário de um transformador de potência. O transformador serve para duas finalidades: (1ª) isolar o circuito da fonte de alimentação da linha em corrente alternada e (2ª) aumentar ou abaixar a tensão da linha para o valor desejado.

O secundário do transformador está ligado a um *circuito retificador* que transforma a tensão alternada em tensão contínua. Os componentes nos circuitos retificadores podem ser válvulas, diodos semicondutores, SCRs, ou diodos a gás. Os circuitos retificadores com diodos semicondutores são os mais populares.

A saída do circuito do retificador não é uma tensão contínua, pura e suave. Pelo contrário, é uma forma de tensão contínua pulsante. Pode ser vista uma onda típica no diagrama de blocos. Essa tensão não poderia ser usada como corrente contínua nos sistemas amplificadores, de modo que um *circuito de filtro* é usado. A única finalidade do filtro é suavizar as pulsações a fim de se obter uma tensão de saída pura (ou quase pura).

Os três blocos da Figura 6-3 que foram discutidos até agora compõem o que se chama *fonte de alimentação não-regulada.*

A tensão de saída do filtro pode ser fornecida diretamente à carga que requer uma tensão contínua. Porém, se a corrente de carga numa fonte de alimentação não-regulada variar de instante para instante, haverá também alterações na tensão de saída. Em alguns circuitos é importante ter uma tensão de saída contínua constante independentemente de a corrente da carga variar ou não. Nesse tipo de aplicação é necessário um circuito regulador. Essa é a parte do diagrama de blocos da Figura 6-3 vista fora da linha pontilhada.

O circuito sensor controla qualquer alteração que possa ocorrer na tensão de saída. (Novamente essas alterações na tensão ocorrem como resultado na corrente de carga.)

A saída do circuito sensor é alimentada por um *comparador* que também possui uma entrada de uma tensão de referência. Se as tensões do sensor e de referência forem as mesmas, não haverá alteração na saída de tensão do comparador. Se a tensão de saída da fonte de alimentação variar, haverá uma mudança correspondente de saída do circuito sensor. Isso faz com que o comparador forneça uma tensão diferente para o amplificador, dependendo da magnitude da alteração controlada.

O *amplificador* amplia a saída do comparador e fornece uma tensão de controle ao *regulador em série.* Sua finalidade é controlar a tensão de saída contínua do circuito. Se a tensão de saída da fonte de alimentação tende a aumentar ou diminuir, o regulador em série ajusta automaticamente a saída para seu valor correto.

RESUMO

1. A energia elétrica fornecida aos sistemas eletrônicos está numa das seguintes formas: corrente contínua, corrente alternada monofásica, corrente alternada bifásica, corrente alternada trifásica.
2. Um circuito de fonte de alimentação converte energia de uma forma para outra. Não gera energia.
3. Os transformadores convertem a corrente alternada de um valor para outro e isolam o circuito primário do circuito secundário.
4. Os retificadores convertem a corrente alternada em corrente contínua enquanto os inversores convertem a corrente contínua em corrente alternada.
5. Um conversor converte a corrente contínua de um valor para outro.
6. Uma fonte de alimentação regulada mantém sua tensão de saída num valor constante até mesmo se a resistência de carga for alterada.

Quais os tipos de Circuitos usados em Fontes de Alimentação Não-Reguladas?

No diagrama de blocos da Figura 6-3, o transformador, o circuito do retificador e o circuito de filtro constituem a fonte de alimentação não-regulada. O transformador de energia foi discutido no Capítulo 4. Os circuitos usados para retificadores serão discutidos aqui. Em cada caso, o circuito é mostrado com retificadores semicondutores, porém você lembrará que diodos a válvulas ou diodos a gás também são usados.

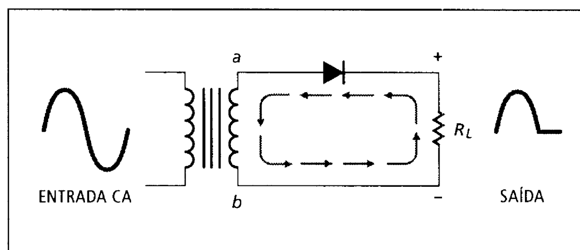


Fig. 6-4: Um retificador de meia onda.

Como opera um Retificador de Meia Onda?

A Figura 6-4 mostra um circuito retificador de meia onda. Um transformador de potência é mostrado no desenho, porém esse tipo de circuito de retificador pode também trabalhar sem um transformador. A tensão alternada aparece sobre o secundário do transformador nos pontos *a* e *b*. No primeiro meio ciclo, o ponto *a* é negativo em relação ao ponto *b*. A tensão negativa sobre o ânodo do diodo impede-o de conduzir corrente. Na segunda metade do ciclo, o ponto *a* é positivo em relação ao ponto *b*.

A tensão positiva sobre o ânodo do diodo faz com que ele conduza um fluxo de elétrons pelo caminho indicado pelas setas.

As ondas de entrada e saída para o circuito retificador de meia onda são indicadas no desenho. Uma desvantagem importante desse circuito é que a tensão de saída é de 0 volt para meio ciclo de entrada. Portanto, essa fonte de alimentação fornece energia contínua durante meio ciclo de entrada.

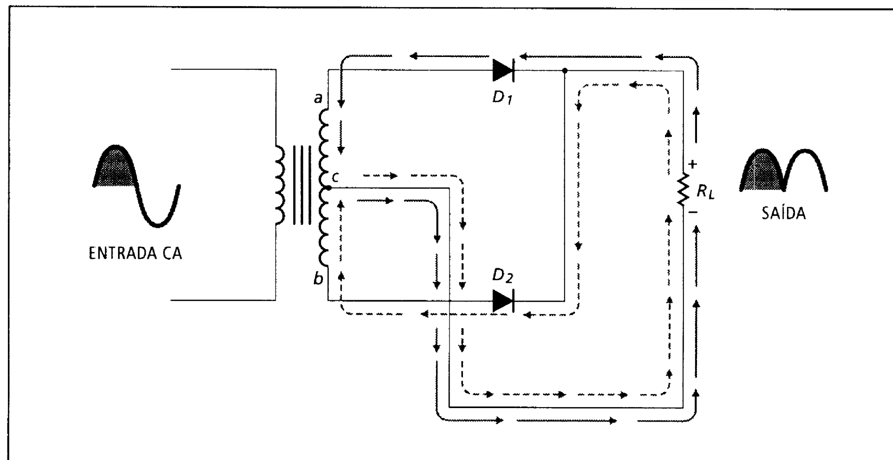


Fig. 6-5: Um retificador de onda completa.

Como funciona um Retificador de Onda Completa?

A Figura 6-5 mostra um circuito para um retificador de onda completa. Esse tipo de circuito retificador *deve* ser usado com um transformador. O transformador é necessário para dividir a fase de modo que cada diodo (D_1 e D_2) conduzirá durante meio ciclo.

No primeiro meio ciclo o ponto *a* é positivo e o ponto *b* é negativo. O centro equaliza as tensões positivas e negativas. Vamos supor que o ponto *a* seja positivo e o ponto *b* negativo. As setas cheias mostram o caminho do fluxo da corrente de elétrons. O diodo D_2 não está con-duzindo eletricidade durante esse período por causa da tensão negativa sobre seu ânodo.

No segundo meio ciclo o ponto *b* é positivo e o ponto *a* é negativo. O diodo D_1 está desligado com a tensão negativa em seu ânodo. O caminho de condução durante esse meio ciclo está indicado pelas setas pontilhadas. As setas mostram que a corrente de elétrons flui na mesma direção através de R_L quando D_1 ou D_2 estiver conduzindo.

A forma das ondas da tensão de entrada e saída do circuito retificador de onda completa é mostrada no desenho. As áreas achuriadas representam as ondas quando D_1 conduz. Observe que a onda de saída cai para zero somente durante um instante na ocasião de um ciclo completo de fornecimento de energia. Existe também uma tensão de saída para ambos os meio ciclos de entrada. Em muitos circuitos isso é uma vantagem sobre a fonte de alimentação de meia onda, indicada na Figura 6-4.

O que é um Retificador de Ponte?

A Figura 6-6 mostra um circuito de retificador de ponte. Esse é outro tipo de retificador de onda completa. A onda de saída mostra que a corrente flui através do resistor de carga R_L para ambos os meio ciclos de entrada.

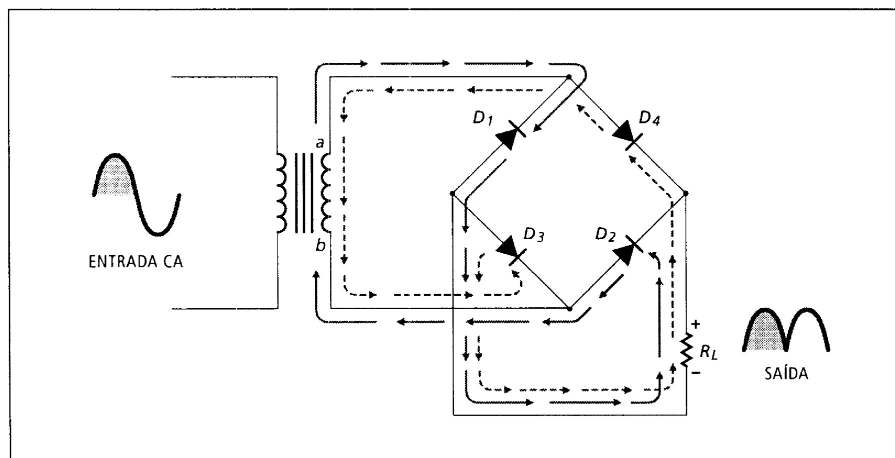


Fig. 6-6: Um retificador de ponte.

Um transformador não é necessário para esse tipo de retificador, apesar de ter sido indicado na figura. Um retificador de ponte possui a vantagem de usar sempre o enrolamento secundário do transformador inteiro. Dessa forma, se você usar o mesmo transformador, a tensão contínua de saída terá duas vezes a tensão obtida na Figura 6-5.

A tensão sobre o secundário é alternada. No primeiro meio ciclo, o ponto *a* é positivo em relação ao ponto *b*. O caminho de condução durante esse meio ciclo é indicado pelas setas pontilhadas. Isso ocorre do ponto *b* através do diodo D_3, através da carga R_L, através de D_4 e para o ponto positivo *a* no secundário do transformador. O diodo D_1 está cortado durante esse meio ciclo em razão da tensão negativa sobre seu ânodo no ponto *a* e o diodo D_2 é cortado por causa da tensão positiva em seu cátodo no ponto *b*.

Durante o meio ciclo seguinte o ponto *a* é negativo com relação a *b*. A corrente durante esse meio ciclo é indicada pelas setas sólidas. Ela flui através de D_1, da carga R_L, através de D_2 e até o ponto positivo *b*.

A corrente flui na mesma direção através de R_L durante ambos os meios ciclos. Portanto esse é um retificador de onda completa. Uma vantagem importante do retificador de ponte em relação ao retificador de onda completa indicado na Figura 6-5 é que um transformador não é necessário. Porém, se a tensão alternada da linha de alimentação tiver que ser elevada ou abaixada, um transformador será necessário.

Como funciona um Duplicador de Tensão?

A Figura 6-7 mostra dois circuitos de retificadores que proporcionam uma tensão de saída que é aproximadamente duas vezes a tensão do pico da tensão de entrada sobre os pontos *a* e *b*.

A Figura 6-7a mostra um circuito *duplicador de tensão de meia onda.* Durante o primeiro meio ciclo o ponto *a* é positivo em relação ao ponto *b*. A tensão negativa no ponto *b* desliga o diodo D_1 e liga o diodo D_2. O fluxo de elétrons para esse meio ciclo é indicado pelas setas pontilhadas. Essa corrente carrega o capacitor C_2 até o valor máximo da tensão sobre os pontos *a* e *b*.

No meio ciclo seguinte, o ponto *a* é negativo em relação ao ponto *b*. Durante esse meio ciclo a tensão positiva no ponto *b* liga o diodo D_1 e desliga o diodo D_2. O fluxo dos elétrons está indicado pelas setas cheias. Esse fluxo de corrente de elétrons carrega o capacitor C_1 até o valor máximo da tensão sobre os pontos *a* e *b*. O resistor R_1 limita o valor da corrente de maneira que a capacidade da corrente dos diodos não seja ultrapassada.

Quando D_1 conduz elétrons você deve lembrar que o capacitor C_1 está carregado com o valor máximo da tensão da linha. Esse capacitor conserva a voltagem máxima durante a metade do ciclo na qual o diodo D_1 não está conduzindo. A polaridade da tensão sobre C_1 não está indicada. Você poderá notar que a tensão está em série com a tensão sobre o secundário quando o ponto *a* é positivo em relação à tensão sobre o ponto *b*. O gráfico adicional da Figura 6-7a mostra que as duas tensões se somam. A tensão total ($E_{C1} + E_{ab}$) é aplicada quando o diodo D_2 é condutor, de modo que C_2 carrega com o dobro do valor máximo da tensão sobre o secundário do transformador.

Se você medir a tensão sobre o secundário do transformador com um

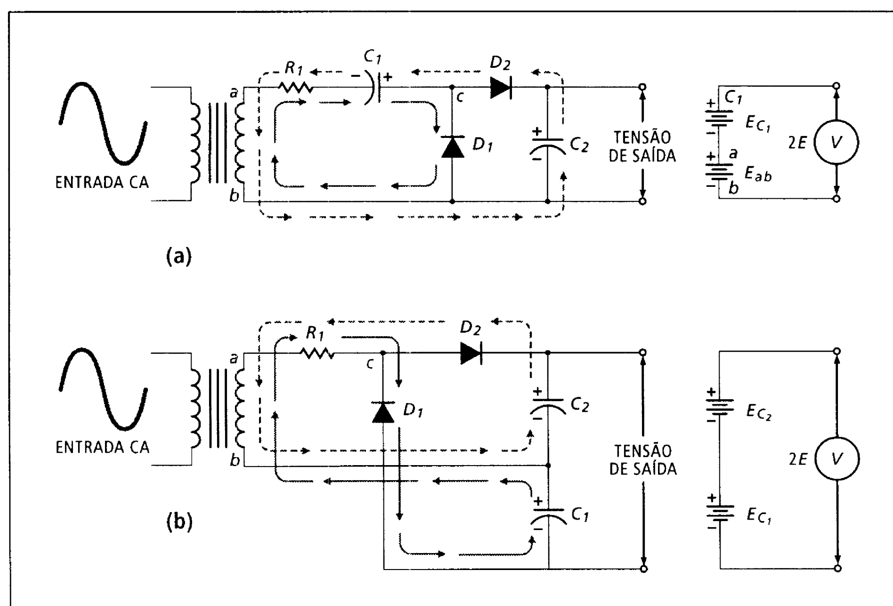


Fig. 6-7: Circuitos duplicadores de tensão: (**a**) um duplicador de meia onda; (**b**) um duplicador de onda completa.

voltímetro de corrente alternada e encontrar a tensão do secundário igual a 100 volts, pode pensar que a tensão sobre o capacitor C_2 será de 200 volts. Isso não é verdade. Lembre-se de que, quando você mede uma tensão alternada com voltímetro, está medindo o valor rms. Os capacitores são carregados para o valor máximo. O valor máximo é igual a 1,414 vezes esse valor rms. Entretanto, se você mede 100 volts sobre o secundário do transformador com um voltímetro, o valor máximo é 1,414 X 100, ou seja, 141 volts. A tensão de saída sobre C_2 será o dobro de 141 volts, ou seja 282 volts.

O circuito da Figura 6-7a é considerado um *duplicador de meia onda* em razão da tensão sobre a saída (que também é a tensão sobre C_2) ser produzida somente durante a metade do ciclo de fornecimento de energia.

O circuito da Figura 6-7b é um circuito *duplicador de tensão de onda completa.* Na primeira metade do ciclo, o ponto *a* torna-se positivo em relação ao ponto *b*. O diodo D_1 está ligado pela tensão positiva, enquanto D_2 está desligado. O caminho de condução está indicado pelas setas pontilhadas. O capacitor C_2 é carregado até a tensão máxima sobre *a* e *b* durante esse meio ciclo.

No segundo meio ciclo o ponto *a* torna-se negativo em relação ao ponto *b*. A tensão negativa no ponto *a* torna inoperante o diodo D_2 e torna condutor o diodo D_1. O caminho condutor é indicado pelas setas cheias. O capacitor C_1 carrega até a tensão máxima sobre *a* e *b* durante esse meio ciclo.

A tensão sobre a saída da fonte de alimentação é igual a soma das tensões sobre os capacitores. Essa tensão é obtida adicionando as duas tensões dos capacitores em séries de forma muito semelhante à adição de tensões de bateria que você pode ver no desenho anterior.

Se a tensão de entrada sobre os pontos *a* e *b* no duplicador de onda completa da Figura 6-7b for medida e for encontrado um valor de 100 volts, a tensão de saída será de 282 volts. Lembre-se, um voltímetro mede o valor eficaz rms, porém os capacitores carregam até o valor máximo.

Uma vantagem do duplicador de onda completa sobre o duplicador de meia onda é que a tensão de saída muda menos com variações da corrente de carga. Observe que na Figura 6-7a uma resistência baixa ligada sobre os terminais de saída não causará a descarga do capacitor C_2 para um valor baixo. Isso ocorrerá durante cada meio ciclo quando C_2 não estiver carregado. Com o duplicador de onda completa, um ou outro dos dois capacitores (C_1 e C_2) está sendo carregado durante um dos dois meios ciclos de fornecimento de energia.

Já que C_1 e C_2 são ligados em série e a carga é ligada sobre ambos, a carga não pode reduzir a tensão de saída de forma perceptível em momento algum.

Os circuitos duplicadores de tensão possuem a vantagem de produzir uma tensão contínua de saída importante para uma tensão alternada de entrada. Porém, esse tipo de circuito tem pouca regulagem, o que significa que a tensão de saída varia consideravelmente com alterações importantes na corrente de carga.

Como funciona um Triplicador de Tensão?

É possível obter até mais de duas vezes a tensão de entrada nos circuitos retificadores e no capacitor. Você pode ver um exemplo similar na Figura 6-8. Esse circuito consiste num duplicador de tensão de meia onda composto pelos capacitores C_1 e C_2 e pelos diodos D_1 e D_2. A única diferença em relação ao duplicador de meia onda da Figura 6-7a é que o diodo D_3 e o capacitor C_3 foram acrescentados. A tensão sobre o capacitor C_2 será igual ao dobro da tensão de linha, conforme explicado anteriormente. O capacitor C_3 carrega até o valor máximo da tensão nos meio ciclos quando o ponto *a* é negativo com relação ao ponto *b*. As setas mostram o caminho da corrente de carga para C_3. A tensão alternada máxima sobre C_3 mais o dobro da tensão alternada sobre C_2 adicionam-se para formar três vezes a tensão alternada máxima sobre os terminais de saída.

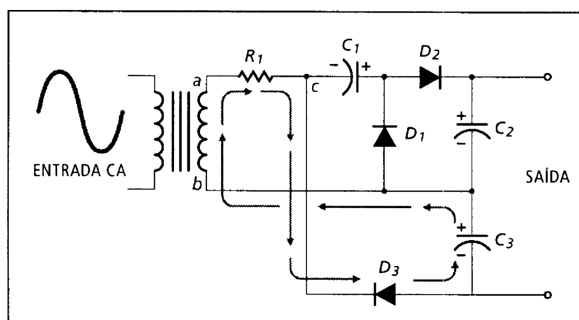


Fig. 6-8: Um circuito triplicador de tensão.

O triplicador de tensão não fornece a tensão máxima de saída que pode ser obtida dessa maneira. Um quadriplicador de tensão, por exemplo, pode ser formado combinando-se as saídas de duplicadores de tensão em série. Não há, porém, outras vantagens. Quanto maior a tensão de saída obtida, piores são as características de regulagem.

Como os Diodos Retificadores são ligados em Série e em Paralelo?

Uma das coisas que você deve saber sobre os diodos é seu valor nominal TIP (Tensão Inversa de Pico). Os fabricantes fornecem o valor TIP dos diodos que fabricam. Essa é a tensão reversa máxima que pode ser aplicada sobre um diodo antes de ocorrer uma falha. Em outras palavras, é a tensão máxima com ânodo negativo e cátodo positivo.

Quando ocorre uma falha, o diodo conduz uma corrente de elétrons do ânodo para o cátodo. Sua capacidade retificadora é geralmente destruída quando isso ocorre.

É boa prática usar um diodo com um valor TIP maior do que a tensão reversa que você esperaria colocar sobre ele. Se o diodo tiver uma tensão reversa sobre ele de 100 volts quando for ligado no circuito, deveria então usar um diodo com um valor TIP de pelo menos, 200 volts.

Você pode necessitar de uma tensão de pico inversa maior do que aquela obtida com qualquer dos diodos disponíveis. Você pode obter um valor TIP maior ligando os diodos em série.

A Figura 6-9 mostra como os diodos são ligados em série. Se um diodo nesse circuito tiver um valor TIP de 100 volts e um outro tiver também um valor TIP de 100 volts, a capacidade de tensão inversa de pico da combinação é igual a soma, ou seja, 200 volts.

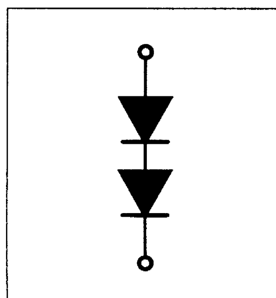


Fig. 6-9: Diodos ligados em série.

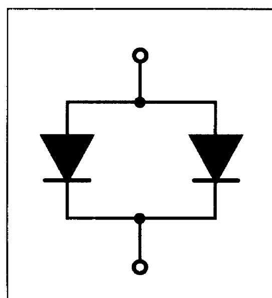


Fig. 6-10: Diodos ligados em paralelo.

Além do valor TIP, os fabricantes também caracterizam os diodos pela corrente máxima direta que podem produzir com segurança. A corrente máxima de condução é a maior corrente que você pode permitir quando o diodo é polarizado diretamente (ânodo positivo e cátodo negativo). Você pode precisar de um valor maior de corrente de condução do que pode ser obtido com qualquer dos diodos disponíveis. Isso pode ser feito ligando os diodos em paralelo como indicado na Figura 6-10. Aqui um diodo na combinação paralela possui capacidade de corrente direta de 1/2 ampère e o outro tem também a capacidade de corrente direta de 1/2 ampère. Quando os dois forem ligados em paralelo, a corrente direta máxima permissível para a combinação dos dois diodos é de um ampère.

Quando os diodos forem ligados em paralelo, conforme indicado na Figura 6-10, sua tensão inversa de pico será igual ao valor TIP mais baixo da combinação. Por exemplo, vamos supor que um diodo possua um valor TIP de 50 volts e o outro um valor TIP de 100 volts. Quando forem ligados em paralelo, o valor TIP dos dois será de 50 volts.

RESUMO

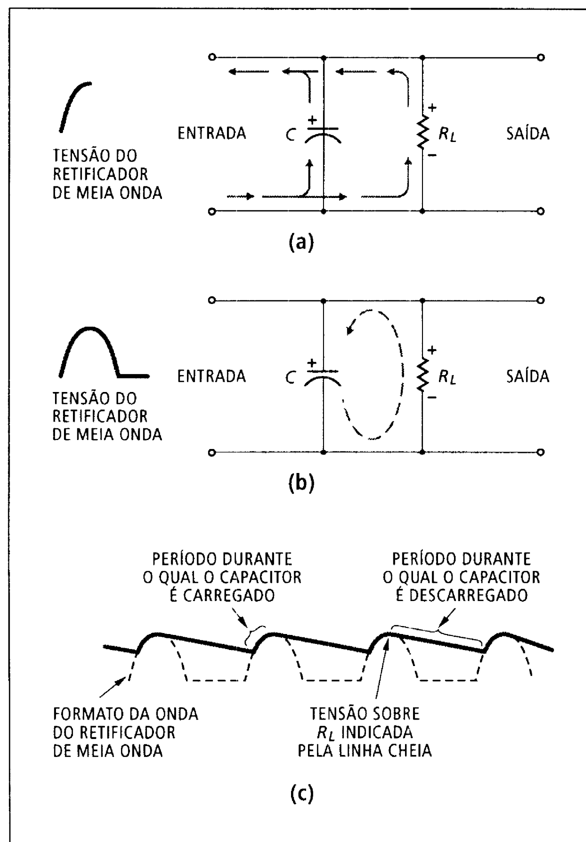
1. Um retificador de meia onda é o mais simples, porém não haverá fornecimento de energia à carga durante a metade de um ciclo para cada ciclo de fornecimento de tensão.
2. Um retificador de onda completa geralmente requer um transformador para sua operação. Isso o torna mais complexo e mais pesado do que um retificador de meia onda. Porém sua tensão de saída cai para zero somente durante um instante no final de cada meio ciclo.
3. Um retificador de ponte é um retificador de onda completa que pode fornecer duas vezes a tensão contínua de saída de um retificador de onda completa comum com o mesmo transformador.
4. Um duplicador de tensão produz uma tensão de saída grande, porém tem a desvantagem de que altas correntes de carga causem variações na tensão de saída. Em outras palavras, possui regulagem deficiente.
5. Quando os diodos forem ligados em série, seus valores TIP são adicionados. Quando forem ligados em paralelo, seus valores de corrente direta são adicionados.
6. Quando os diodos forem ligados em série, a capacidade da corrente direta na combinação é igual à capacidade mínima da corrente do grupo.
7. Quando os diodos forem ligados em paralelo, o valor TIP da combinação será igual ao valor TIP mais baixo do grupo.

Em que consiste um Circuito de Filtro?

Os circuitos retificadores discutidos neste capítulo possuem uma corrente contínua de saída *pulsante*. Em outras palavras, a saída é um valor contínuo variável. Conforme indicado no diagrama de blocos da Figura 6-3 (pág. 115), o circuito de filtro segue geralmente o circuito retificador. Sua finalidade é suavizar as variações de tensão.

O filtro mais simples está indicado na Figura 6-11. Consiste num capacitor eletrolítico *C* ligado diretamente sobre a carga na fonte de alimentação R_L. A tensão de entrada para a fonte de alimentação é a corrente contínua pulsante que sai do circuito retificador. Você poderá lembrar que uma das funções de um capacitor num circuito é a de armazenar energia. Essa é a finalidade de *C* neste circuito.

Fig. 6-11: Operação de um filtro capacitivo: (a) durante a carga do capacitor; (b) durante a descarga; (c) formato da onda de saída.



Durante meio ciclo, a tensão sobre os terminais de entrada (isto é, a tensão pulsante dos retificadores) tor-na-se positiva. Isto está indicado na Figura 6-11a. Durante esse período, uma corrente de elétrons flui através de R_L e também flui dentro do capacitor *C* para carregá-lo para o valor máximo da onda de entrada. As setas indicam o caminho para o fluxo de elétrons.

Presume-se nessa discussão que a entrada do filtro seja a partir do circuito retificador de meia onda. Portanto, depois de passado o pico positivo, a tensão de entrada cai para 0 volt no meio ciclo seguinte.

Quando a tensão de entrada cair para zero, o capacitor começa a descarregar-se através de R_L. Isso é mostrado na Figura 6-11b. Em vez da tensão de saída (sobre R_L) cair para zero, como seria o caso se não houvesse um capacitor, a corrente de descarga de *C* mantém a tensão sobre R_L.

Se o circuito for adequadamente projetado, o capacitor do filtro descarregará apenas uma pequena parte de sua energia antes do próximo pulso positivo sair do circuito retificador. O capacitor carrega toda vez que a tensão de entrada for positiva.

Você pode ver a forma da onda de saída da fonte de alimentação, que é a tensão sobre R_L na Figura 6-11c. A linha pontilhada indica a entrada do retificador de meia onda. Isso seria a tensão de saída sobre R_L se o capacitor fosse removido. A linha cheia representa a tensão de saída filtrada.

Indutores são também componentes que armazenam energia, a fim de poderem ser usados como filtros, assim como os capacitores.

A Figura 6-12 mostra quatro circuitos de filtro comuns usados em fontes de alimentação eletrônicas. A Figura 6-12a representa um *filtro capacitivo* simples do tipo discutido anteriormente. Na Figura 6-12b um indutor (choque) é usado para filtrar pulsações. Já que um indutor opõe-se a qualquer mudança na corrente através do mesmo, a corrente pulsante que flui através de R_L será suavizada pela ação do indutor.

A Figura 6-12d mostra um *filtro pi*, que deve seu nome a sua semelhança com a letra grega pi ( ). Esse circuito contém tanto capacitores como indutores para suavizar as pulsações. É também chamado *filtro de entrada capacitiva* porque um capacitor C_I é o primeiro componente no circuito de filtro, conforme visto do circuito retificador.

A Figura 6-12d mostra um circuito com *entrada de choque*. Isso é também chamado *filtro L*.

Comparando o filtro com entrada capacitiva com o filtro com entrada de bobina, existem duas coisas muito importantes para serem lembradas.

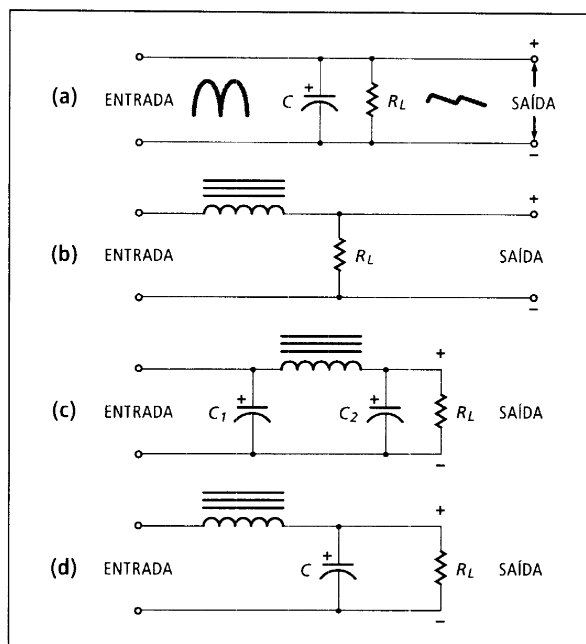


Fig. 6-12: Circuito de filtro para fontes de alimentação: (**a**) filtro capacitivo; (**b**) filtro de choque; (**c**) filtro ;(**d**) filtro *L*.

Com o filtro de entrada capacitiva, a tensão de saída sobre a resistência de carga é maior que para um filtro com entrada de bobina. Entretanto, a *regulagem* do filtro com entrada capacitiva não é tão boa quanto a regulagem de um filtro com entrada indutiva. A regulagem é a medida de quanto a tensão de saída da fonte de alimentação permanece constante com variações da corrente de carga. O filtro com entrada indutiva possui uma melhor regulagem, porém a tensão de saída não é tão grande.

A maior tensão de saída do filtro com entrada capacitiva ocorre como resultado do fato de que o capacitor de entrada C_1 carrega até o valor máximo da tensão pulsante de entrada, e isso serve como tensão de saída da fonte de alimentação.

Quando a fonte de alimentação for regulada eletronicamente, é prática comum usar um filtro capacitivo simples igual àquele indicado na Figura 6-12a. Esse filtro simples não fornece a tensão uniforme que pode ser obtida com um sistema de filtro mais elaborado, porém o circuito regulador filtra quaisquer ondas remanescentes. De fato, alguns circuitos reguladores são chamados *filtros eletrônicos* em razão de sua capacidade de remover flutuações da tensão da fonte de alimentação. Uma fonte de alimentação regulada será discutida mais tarde neste capítulo.

Quais as causas da Regulagem Deficiente?

Quando for necessário ter uma tensão ou corrente constante apesar das variações de carga sobre a fonte de alimentação, circuitos reguladores eletrônicos podem ser usados. Lembre-se de que a carga de uma fonte de alimentação é a corrente total que ela deve fornecer. Qualquer alimentação que cause grande variação na tensão de saída durante a operação normal resultará em regulagem deficiente. A finalidade do regulador é impedir a saída de tensão da fonte de alimentação de ser alterada com variações da corrente da carga.

Se o regulador for projetado de tal maneira que a corrente de carga não flua através dele, ele será chamado *regulador em derivação.* Se a corrente de carga fluir através do regulador, o mesmo será chamado *regulador em série.*

Lembre-se de que a regulagem é uma medida da capacidade da fonte de alimentação de manter a tensão de saída constante apesar da variação da carga. A parte não-regulada da fonte de alimentação na Figura 6-3 inclui o transformador, retificador e filtro. Todos esses componentes podem afetar a regulagem.

A tensão alternada da linha de alimentação pode variar de vez em quando. Se a fonte de alimentação for ligada em linhas de energia que possuam fortes variações de carga, freqüentemente acontece em indústrias onde várias máquinas são ligadas à mesma linha, a entrada de fonte de alimentação alternada pode variar de instante para instante. Se a amplitude da tensão de entrada variar, a amplitude de tensão de saída de uma fonte de alimentação não-regulada variará também.

Mudanças na corrente de carga da fonte de alimentação causarão mudanças na intensidade da corrente que flui através dos enrolamentos do transformador. Esses enrolamentos possuem resistência, de forma que as mudanças da corrente provocam variações na tensão. O resultado é uma tensão secundária variável quando a corrente da fonte de alimentação é variável.

Os diodos usados em circuitos retificadores possuem uma resistência direta. Em outras palavras, quando o diodo está conduzindo eletricidade, existe uma resistência no caminho de condução entre o cátodo e o ânodo. Conforme a corrente de carga da fonte de alimentação varia, a queda de tensão sobre o diodo pode variar, causando uma variação na tensão de saída. (Essa variação na queda de tensão não ocorre uniformemente para todos os tipos de diodos usados. Assim, o tipo de retificador pode afetar a regulagem da fonte de alimentação.)

Se os indutores no circuito do filtro não tivessem resistência, não teriam efeito algum sobre a regulagem da fonte de alimentação. Porém, os indutores têm resistência. Ocorre uma queda de tensão sobre o indutor de filtro, e essa queda de tensão varia com as mudanças na corrente de carga da fonte de alimentação.

Com os circuitos de filtro da Figura 6-12, usa-se, às vezes, um resistor no lugar de um indutor. O resistor limita o tempo de descarga para os capacitores de filtro, ajustando dessa forma a tensão de saída em um valor constante. Entretanto, a queda de tensão contínua sobre a resistência varia também com a corrente de carga. Isso irá causar variações na tensão de saída da fonte de alimentação que é maior do que se for usado um indutor. Assim, este tipo (resistor-capacitor) de filtro é usado somente quando a intensidade da corrente na fonte de alimentação é pequena.

Em resumo, todos os componentes nas fontes de alimentação não-reguladas de baixa tensão podem afetar a regulagem. Da mesma forma, variações na tensão alternada de entrada podem afetar a tensão de saída, outro fator que pode levar à regulagem deficiente.

RESUMO

1. A finalidade de um filtro é atenuar as variações de corrente contínua do circuito retificador.
2. A saída de um retificador de onda completa é mais fácil de filtrar que a saída de um retificador de meia onda.
3. Alguns tipos comuns de filtros para fontes de alimentação são o filtro capacitivo simples, o filtro *pi* e o filtro *L*.
4. O filtro de entrada com bobina de choque proporciona uma melhor regulagem que o filtro de entrada capacitiva.
5. A finalidade de um regulador é manter a tensão de saída constante apesar das variações de corrente de carga.
6. Um regulador de derivação não produz um fluxo de corrente de carga através dele mesmo. Um regulador em série o faz.
7. Alguns dos fatores que podem afetar a regulagem são variações da tensão alternada, variações na corrente de carga através da resistência dos enrolamentos do transformador e dos retificadores, e variações da corrente de carga através da resistência dos indutores do filtro e/ou dos resistores.

Quais os tipos de Circuitos usados em Reguladores para Fontes de Alimentação?

Será útil estudar alguns circuitos que são usados em fontes de alimentação de tensão regulada antes de analisar uma fonte de alimentação regulada completa. Os circuitos descritos nessa seção serão combinados num regulador de tensão completo na próxima seção.

Em que consiste um Circuito Sensor?

O princípio do circuito sensor está indicado na Figura 6-13. Ali você pode observar três resistores – R_3, R_4 e R_5 – ligados entre uma fonte de + 30 volts e a terra. Existe uma queda de tensão sobre cada resistor. Quando adicionadas, as quedas de tensão devem ser iguais a 30 volts.

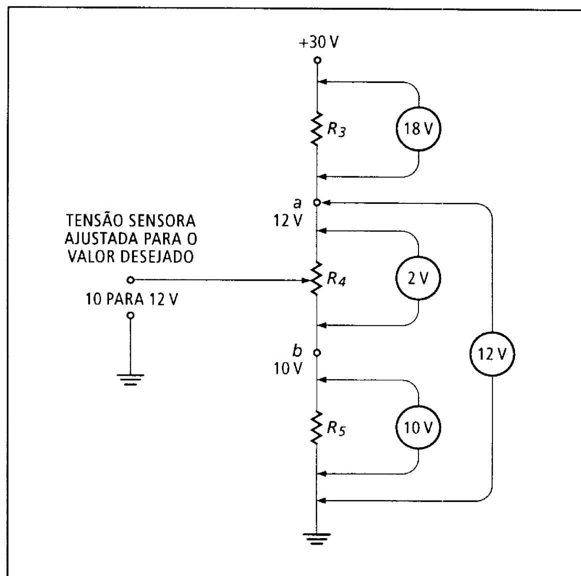


Fig. 6-13: Circuito sensor.

A queda de tensão sobre R_5 é de 10 volts, a queda sobre R_4 é de 2 volts e a queda sobre R_3 é de 18 volts. A tensão no ponto *a* é de 12 volts positivos com *relação à terra*. Essa é a tensão da fonte de alimentação (30 volts) menos a queda de tensão sobre R_3 (18 volts).

A queda de tensão sobre R_4 é igual à diferença entre a tensão de + 12 volts no ponto *a* e a tensão de + 10 volts no ponto *b*. Em outras palavras, é igual a 2 volts.

Observe que R_4 é um resistor variável. O braço (representado pela seta) do resistor pode ser deslocado entre os pontos *a* e *b*, de modo que a tensão de saída no braço pode ser ajustada entre + 10 volts e + 12 volts. Existe uma faixa de ajuste de 2 volts. Vamos supor que a tensão seja ajustada em + 11 volts em relação à terra. Lembre-se de que essa tensão depende do ajuste de R_4 e a tensão de alimentação de 30 volts.

Se a tensão de alimentação sobe para 31 volts, a tensão no braço de R_4 também subirá. Da mesma forma, se a tensão aplicada cair a 29 volts, a tensão no braço de R_4 cairá (ou tornar-se-á menos positiva). Podemos dizer que a tensão no braço variará toda vez que a tensão na fonte de alimentação variar. Podemos dizer também que a tensão no braço de R_4 pode ser usada para sentir qualquer variação na tensão da fonte de alimentação.

Existem variantes num circuito sensor. Nem todos eles possuem um resistor variável, e alguns circuitos sensores possuem somente dois em vez de três resistores. Neste caso a tensão sensora é medida na junção dos dois resistores.

Como se obtém uma Tensão de Referência?

A tensão de referência na maioria das fontes reguladas de alimentação de estado sólido é obtida a partir da queda de tensão constante sobre um diodo zener. A operação desse circuito de referência pode ser entendida referindo-se à Figura 6-14.

Na Figura 6-14a, a tensão da fonte de alimentação (10 volts) é aplicada sobre o resistor *R* e sobre o diodo zener *X* ligados em série. A tensão sobre o diodo zener é de 3 volts. Essa é a tensão nominal do diodo e não variará, quer a tensão sobre a fonte de alimentação mude ou não.

Na Figura 6-14b a tensão da fonte de alimentação é elevada a 11 volts. De acordo com a lei de tensão de Kirchoff a soma das quedas de tensão deve ser igual à tensão aplicada. A tensão sobre o diodo zener é ainda de 3 volts, de maneira que a tensão sobre o resistor deve ter sido elevada a 8 volts. Isso causa uma queda de tensão total de

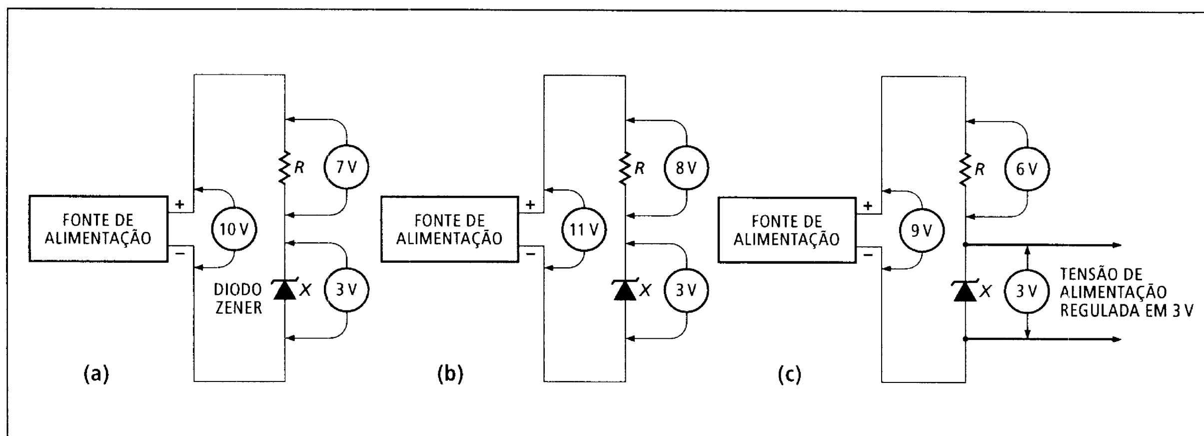
8 volts + 3 volts = 11 volts

que é igual à tensão aplicada.

Na Figura 6-14c a tensão da fonte de alimentação caiu para 9 volts. A queda de tensão do zener é ainda de 3 volts, de modo que a tensão sobre o resistor deve cair para 6 volts. Isso é necessário para tornar a queda de tensão total igual à tensão aplicada.

O circuito da Figura 6-14 pode ser usado como uma fonte de alimentação regulada de 3 volts para certas aplicações de baixa potência. Em fontes de alimentação eletrônicas reguladas, a tensão sobre um diodo zener pode ser usada como tensão de referência. Refira-se novamente à Figura 6-3 e poderá notar que a tensão de referência é uma das duas tensões aplicadas para o comparador. A outra tensão é obtida do circuito sensor, que foi estudado na Figura 6-13.

Fig. 6-14: O diodo zener ligado como regulador de tensão: (a) parte da tensão sofre uma queda sobre *R* e soma-se à tensão zener para igualar a tensão de alimentação; (b) aumentando a tensão de alimentação irá aumentar a tensão sobre *R*; (c) reduzindo a tensão de alimentação irá diminuir a tensão sobre *R*.



Em que consiste um Circuito Comparador?

O comparador produz uma tensão de saída relacionada com a diferença entre a tensão de referência e a tensão do circuito sensor. É também conhecido como *amplificador sensor* ou *amplificador de comparação de tensão.*

Voltando para a Figura 6-3 (pág. 115) você poderá observar mais uma vez que existem duas entradas para o comparador. Uma entrada é a do circuito sensor e a outra é a da tensão de referência. Não há saída do comparador quando a tensão sensora é igual à tensão de referência. Essa é a condição quando a tensão de saída da fonte de alimentação é correta.

Se a tensão de saída não for correta, a tensão sensora varia. Já que a tensão sensora não é mais igual à tensão de referência, haverá uma saída de tensão do comparador.

Como funcionam os Reguladores em Série?

O diagrama de blocos da Figura 6-3 (pág. 115) mostra que um *regulador em série* é inserido entre a tensão de entrada não-regulada e a tensão de saída regulada da fonte de alimentação. Já que a corrente da fonte de alimentação pode ser bastante grande, o regulador em série deve ser um amplificador de potência. A Figura 6-15 mostra como altos valores de corrente podem ser obtidos com amplificadores de potência.

Amplificadores de potência podem ser ligados em paralelo, conforme pode ser visto na Figura 6-15a. As tensões de base sobre os dois transistores são idênticas, já que ambos são ligados no mesmo ponto. A corrente do coletor divide-se conforme indicado pela seta. Qualquer número de amplificadores de potência pode ser ligado em paralelo para obter uma capacidade desejada de corrente. Apesar do fato de que existem dois transistores no circuito em paralelo, esses podem ser considerados como um único amplificador de potência, de grande capacidade, com três terminais marcados *C*, *B* e *E*.

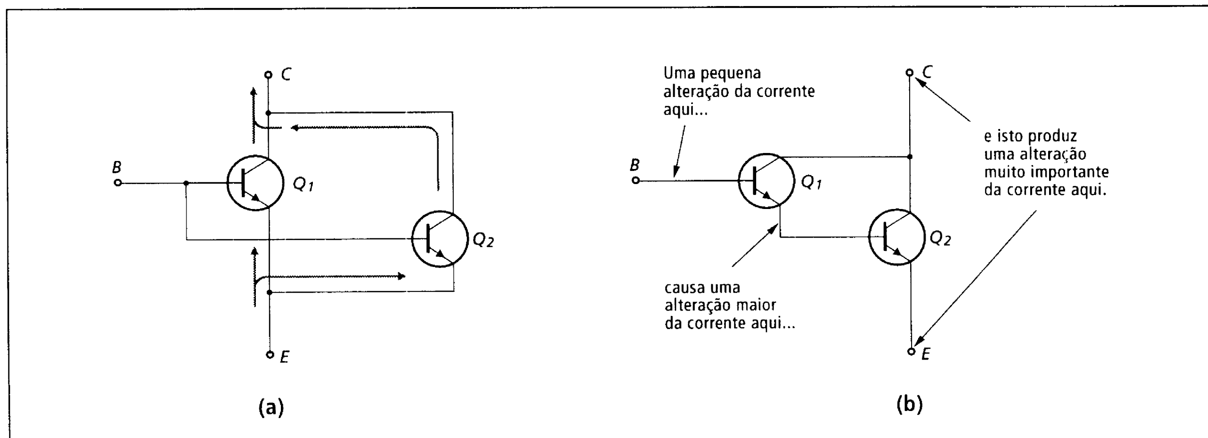
A Figura 6-15b mostra outra maneira de obter uma grande capacidade de potência para transistores de potência. Este é um esquema conhecido como *amplificador Darlington.* Você poderá observar que a corrente de base para Q_2 é determinada pela intensidade da corrente que flui através de Q_1. Uma pequena alteração na base de Q_1 causará uma alteração muito maior da corrente do coletor para Q_2 e isto produz uma alteração muito grande na corrente do coletor através de Q_2.

A vantagem do circuito Darlington é que ele torna sempre a corrente total através do sistema entre terminais *E* e *C* mais diretamente relacionada com a corrente na base *B*.

Como funciona uma Fonte de Alimentação Eletrônica Regulada?

A Figura 6-16 mostra uma fonte de alimentação eletrônica regulada. Essa fonte de alimentação possui o

Fig. 6-15: Transistores de potência ligados: (a) em paralelo; (b) numa configuração Darlington.



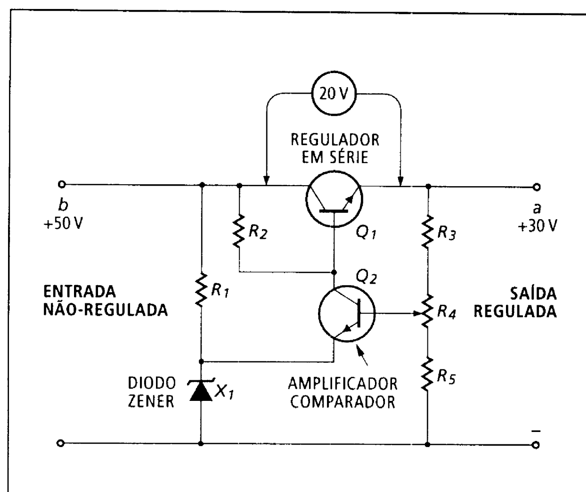


Fig. 6-16: Um circuito regulador eletrônico.

mesmo circuito indicado na Figura 6-3 (pág. 115). Olhando para os circuitos individuais, eles são os seguintes:

- Os circuitos sensores: R_3, R_4 e R_5
- Os circuitos de referência: R_1 e X_1
- O comparador e o amplificador estão combinados em um só circuito: Q_2 com R_2 como resistor de carga do coletor.
- Transistor regulador em série: Q_1

A operação dessa fonte de alimentação é bastante simples, porém é importante considerar um passo de cada vez. Note que a entrada não-regulada para esse circuito é de 50 volts. Isso significa que existe uma queda de tensão sobre Q_1 de 20 volts.

A amplitude da queda de tensão sobre Q_1 depende diretamente de sua tensão de base. Conforme a tensão de base se torna mais positiva, a queda da tensão sobre Q_1 diminui. Quando a tensão de base de Q_1 se torna menos positiva, a queda de tensão sobre Q_1 aumenta.

O importante sobre essa fonte de alimentação regulada consiste em ajustar a queda de tensão sobre Q_1 para compensar qualquer mudança na tensão de saída. Por exemplo, se a tensão no ponto *a* tende a mudar de 30 para 31 volts, a queda da tensão sobre Q_1 será aumentada para 21 volts. Depois que a queda da tensão sobre Q_1 aumentar, a tensão da saída será novamente de 30 volts. Em resumo, uma elevação de 1 volt sobre o ponto *a* é compensada por um aumento de tensão Q_1, de forma que a tensão de saída permaneça em um valor fixo.

Se a tensão de saída no ponto *a* diminui, então a queda de tensão sobre Q_1 diminuirá. Isso fará com que a tensão no ponto *a* aumente de novo para seu valor fixo.

A seguir indicamos como o circuito controla a queda de tensão sobre Q_1. O circuito sensor "sente" qualquer variação na tensão de saída. Se a tensão de saída variar, o circuito sensor proporciona uma alteração de tensão na base de Q_2.

O transistor Q_2 é um amplificador cujo emissor é ligado à tensão de referência (diodo zener) e o circuito de base ligado à saída de sensor R_4. Ele realiza duas tarefas. Primeiro, ele compara a tensão sensora e as tensões de referência. Em segundo lugar, ele aumenta a diferença de tensão toda vez que as duas não forem iguais. Se houver qualquer alteração na tensão de saída no ponto *a*, haverá também uma mudança (menor) na tensão de base do transistor. Isso causará uma mudança na condução de Q_2. A corrente do coletor de Q_2 flui através de R_2, de modo que qualquer mudança na condução de Q_2 provoque uma mudança na queda de tensão sobre R_2.

A tensão na base do transistor regulador Q_1 em série é igual à entrada não-regulada de 50 volts no ponto *b* menos a queda de tensão sobre R_2. Quando a tensão de saída no ponto *a* for correta, a tensão de base de Q_2 é de 4 volts.

Vamos supor que a tensão no ponto *a* torne-se mais positiva. Isso fará com que a tensão de base de Q_2 torne-se também mais positiva, de modo que o transistor Q_2 conduzirá mais. A corrente do coletor de Q_2 aumentará, aumentando também a queda de tensão sobre R_2. A maior queda de tensão sobre R_2 torna a tensão na base de Q_1 menos positiva. Lembre-se de que, toda vez que a tensão de base de Q_1 torna-se menos positiva, a queda de tensão sobre Q_1 aumenta. Haverá um aumento de tensão sobre Q_1 exatamente igual ao valor inicial do aumento da tensão no ponto *a*. Assim, quando a tensão no ponto *a* começar a subir, o circuito ajustará a tensão sobre Q_1 para trazer a tensão em *a* de volta para 30 volts. Levaria algum tempo para explicar como isso ocorre, porém nos circuitos reais isso ocorre instantaneamente.

Vamos supor que a tensão no ponto *a* comece a diminuir para 29 volts. Isso causará uma diminuição na tensão na base de Q_2 e reduzirá sua corrente de coletor. Isso por sua vez reduz a corrente através de R_2 e reduz a queda de tensão sobre R_2. A tensão na base de Q_1 será então mais positiva que antes, e fará com que o transistor Q_1 conduza mais. Lembre-se de que, quando Q_1 conduz mais, a queda de tensão é menor. De modo que, quando a tensão no ponto *a* tende a diminuir, a queda de tensão sobre Q_1 diminui também.

A queda de tensão menor sobre Q_1 faz com que a tensão de saída volte para seu valor de 30 volts.

O resultado global é que qualquer alteração no ponto *a* causará uma alteração na queda de tensão sobre Q_1 e fará com que a tensão no ponto *a* volte ao seu valor de 30 volts.

RESUMO

1. O circuito sensor "sente" quaisquer mudanças na tensão de saída. Essa informação é usada para ajudar a regular a tensão de saída. Essa tensão de saída é levada ao comparador.
2. A tensão de referência é uma tensão fixa que é aplicada ao comparador além da tensão sensora.
3. O diodo zener pode ser usado para obter a tensão de referência.
4. O comparador produz uma tensão de saída, que é proporcional à diferença entre a tensão sensora e a tensão de referência. Essa saída é usada como controle para o regulador.
5. Reguladores em série e em derivação podem ser constituídos de válvulas ou de transistores. Funcionam porque sua resistência pode ser variada por uma tensão de controle.
6. Amplificadores de potência podem ser usados em pares a fim de aumentar sua capacidade de potência total.
7. A resistência de uma válvula em série ou em derivação pode ser alterada variando sua tensão de grade. Quanto mais positiva a tensão de grade, menor resistência terá a válvula.
8. A resistência de um transistor em série ou em derivação pode ser variada alterando sua tensão de base. Para um transistor NPN, tornar a base mais positiva reduz sua resistência. Para um transistor PNP, tornar a base mais negativa reduz sua resistência.
9. Com um regulador em série a queda de tensão sobre o transistor (ou válvula) regulador varia conforme necessário para manter uma tensão de saída constante.
10. Na Figura 6-16 o transistor Q_2 funciona como uma combinação do comparador com o amplificador. A tensão do emissor é fixada pelo diodo zener. Quaisquer mudanças na tensão de base (causadas por variação na tensão de saída) são amplificadas por Q_2 e injetadas no regulador em série Q_1.

PERGUNTAS DE REVISÃO PROGRAMADA

(As instruções para usar esta seção de Revisão Programada são fornecidas no Capítulo 1 / pág. 8.)

Aqui iremos rever os conceitos mais importantes deste capítulo. Se você tiver entendido o material deste capítulo, poderá progredir facilmente por meio desta seção. Não pule este material, porque nele apresentamos algumas informações teóricas adicionais.

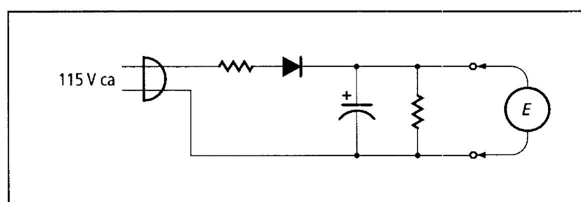


Fig. 6-17: Este é o circuito para a pergunta no item 1.

1 **No circuito da Figura 6-17 a tensão de entrada é de 115 volts ca. A tensão contínua de saída *E* será de cerca de:**

A **115 volts c.c.** (passe para o item 9).
B **162 volts c.c.** (passe para o item 17).

2 *A resposta correta para a pergunta do item 17 é A. Essa é uma questão de revisão. Sua resposta está baseada no que você estudou no Capítulo 3. A corrente de base de um transistor bipolar controla diretamente a corrente do coletor.* Aqui está a próxima pergunta:

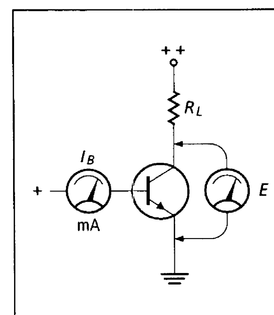


Fig. 6-18: Este é o circuito para a pergunta no item 2.

No circuito da Figura 6-18, o aumento da corrente de base I_B irá:

A **Reduzir a tensão *E* sobre o transistor** (passe para o item 7).
B **Aumentar a tensão *E* sobre o transistor** (passe para o item 10).

3 *Se sua resposta para a pergunta no item 7 é B, está errada. Reveja o assunto sobre os filtros e, em seguida,* passe para o item 19.

4 *Se sua resposta para a pergunta do item 19 é B, está errada. Conexões em série e em paralelo de diodo são indicadas nas Figuras 6-9 e 6-10. Quando ligar diodos em paralelo, saiba que eles não podem suportar maior valor da tensão reversa.* Passe para o item 27.

5 *Se sua resposta para o item 18 é A, está errada. A corrente do coletor aumentará, e a queda de tensão sobre R_L também.* Passe para o item 23.

6 *A resposta correta para o item 20 é B. Um circuito retificador possui uma entrada de corrente alternada e uma saída de corrente contínua.* Aqui está a próxima pergunta:

Quais dos seguintes elementos poderiam ser usados como reguladores em série de uma fonte de alimentação?

[A] **Um amplificador Darlington**
(passe para o item 24).
[B] **Um tiristor**
(passe para o item 25).

7 *A resposta correta para a pergunta no item 2 é A. Lembre-se, aumentar a corrente de base faz aumentar também a corrente do coletor e diminuir a tensão entre o coletor e o emissor. Você deve saber isso para entender a operação da fonte de alimentação regulada.* Aqui está a próxima pergunta:

Num circuito de filtro, os capacitores

[A] **Armazenam energia**
(passe para o item 19).
[B] **Reduzem a tensão de saída para um valor desejado**
(passe para o item 3).

8 *A resposta correta para a pergunta do item 27 é B. Um retificador de ponte é um tipo de retificador de onda completa que não requer um transformador para sua operação.*
Aqui está a próxima pergunta:

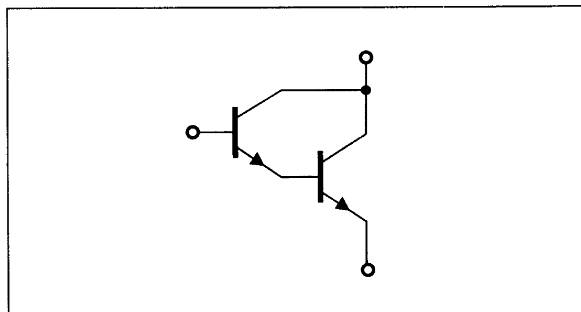


Fig. 6-19: Este é o circuito para a pergunta no item 8.

A Figura 6-19 mostra:

[A] **Transistores em paralelo**
(passe para o item 13).
[B] **Um amplificador Darlington**
(passe para o item 18).

9 *Se sua resposta para a pergunta no item 1 é A, está errada. Lembre-se sempre de que as tensões de linha são fornecidas em rms e não em valores de pico. O capacitor de filtro no circuito da Figura 6-17 carrega até o valor de pico, e não até o valor rms.* Passe para o item 17.

10 *Se sua resposta para a pergunta do item 2 é B, está errada. Aumentar a corrente de base reduz a oposição ao fluxo de corrente do emissor para o coletor. Reduz também a queda de tensão sobre o transistor.* Passe para o item 7.

11 *Se sua resposta para a pergunta do item 20 é A, está errada. Um inversor é um circuito que transforma uma tensão contínua em uma tensão alternada.* Passe para o item 6.

12 *Se sua resposta para a pergunta do item 23 é A, está errada. Um filtro de entrada com bobina de choque resulta em melhor regulagem. Regulagem é a medida de como uma fonte de alimentação mantém uma tensão de saída constante quando a carga é alterada.* Passe para o item 16.

13 *Se sua resposta para a pergunta do item 8 é A, está errada. Quando os transistores são ligados em paralelo, seus emissores são ligados no mesmo ponto. Compare o circuito da Figura 6-19 com o circuito indicado na Figura 6-15 e em seguida* passe para o item 18.

14 *Se sua resposta para a pergunta do item 17 é B, está errada. Aumentar a corrente de base faz com que movimentem-se mais portadores de carga dentro da região de base, de forma que a corrente do coletor aumenta.* Passe para o item 2.

15 *Se sua resposta para a pergunta do item 26 é B, está errada. Uma bobina de choque é um indutor. Opõe-se a qualquer mudança na corrente que flui através dela.* Passe para o item 20.

16 *A resposta correta para a pergunta do item 23 é B. Um filtro de entrada capacitivo possui uma tensão de saída maior, porém sua regulagem não é tão boa quanto o filtro de entrada com bobina de choque.* Aqui está a próxima pergunta:

Os componentes usados no circuito sensor são:

A **Capacitores**
(passe para o item 22).
B **Resistores**
(passe para o item 26).

17 *A resposta correta para a pergunta do item 1 é B. A tensão rms é fornecida. A tensão de pico é obtida como segue:*

1,414 x E (rms) = E (pico)
1,414 x 115 = 162 volts (tensão de pico)

O capacitor de filtro carrega até a tensão de pico e essa é a tensão aproximada de saída da fonte de alimentação. Aqui está a próxima pergunta:

Quando aumenta-se a corrente de base de um transistor bipolar, a corrente do coletor:

A **Aumenta**
(passe para o item 2).
B **Diminui**
(passe para o item 14).

18 *A resposta correta para a pergunta do item 8 é B. Você pode ligar dois transistores NPN ou dois transistores PNP para formar um amplificador Darlington. Você também pode comparar um amplificador Darlington com ambos os transistores no mesmo invólucro.*
Aqui está a próxima pergunta:

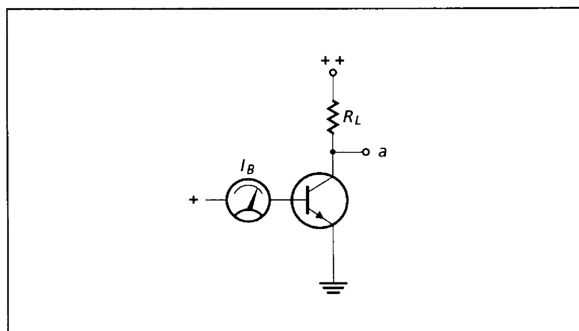


Fig. 6-20: Este é o circuito para a pergunta no item 18.

No circuito da Figura 6-20, o aumento da corrente de base fará com que a tensão no ponto *a* se torne:

A **Mais positiva**
(passe para o item 5).
B **Menos positiva**
(passe para o item 23).

19 *A resposta correta para a pergunta do item 7 é A. Os capacitores de filtro armazenam mais energia e depois a devolvem para o circuito. O assunto dos capacitores foi discutido no Capítulo 2.*
Aqui está a próxima pergunta:

Para aumentar a capacidade inversa de pico dos diodos retificadores

A **Ligue-os em série**
(passe para o item 27).
B **Ligue-os em paralelo**
(passe para o item 4).

20 *A resposta correta para a pergunta do item 26 é A. A Figura 6-14 mostra como um diodo zener é ligado dentro de um circuito para obter um valor fixo da tensão de referência. Uma lâmpada neon pode ser usada para obter valores mais altos da tensão de referência.* Aqui está a próxima pergunta:

Um circuito que converte corrente alternada em corrente contínua é chamado

A **Um inversor** (passe para o item 11).
B **Um retificador** (passe para o item 6).

21 *Se sua resposta para a pergunta do item 27 é A. está errada. Estude a ação de um retificador de ponte conforme mostrado na Figura 6-6 e, em seguida,* passe para o item 8.

22 *Se sua resposta para a pergunta do item 16 é A, está errada. A Figura 6-13 mostra um circuito sensor. Estude esse circuito e, em seguida,* passe para o item 26.

23 *A resposta correta para a pergunta do item 18 é B. A corrente do coletor aumenta quando a tensão de base aumenta. Isso proporciona maior queda de tensão sobre R_L e este torna-se menos positivo.* Aqui está a próxima pergunta:

Qual desses filtros proporcionará uma tensão de saída maior?

[A] **Filtro com bobina de choque de entrada** (passe para o item 12).
[B] **Filtro com entrada capacitiva** (passe para o item 16).

24 *A resposta correta para a pergunta do item 6 é A. Um amplificador Darlington é um tipo de amplificador de potência. O circuito regulador em série usa normalmente um amplificador de potência.* Aqui está a próxima pergunta:

Pode o circuito regulador da fonte de alimentação ser constituído de válvulas a vácuo?

.... **Sim ou Não**

(Passe para o item 28).

25 *Se sua resposta para a pergunta do item 6 é B, está errada. Um tiristor é usado como chave de ação muito rápida, porém não pode ser usado como regulador em série.* Passe para o item 24.

26 *A resposta correta para a pergunta no item 16 é B. Um circuito sensor usa dois ou mais resistores em série sobre a saída da fonte de alimentação. A Figura 6-16 mostra o circuito regulador eletrônico. O circuito sensor é formado por R_3, R_4 e R_5.* Aqui está a próxima pergunta:

Qual dos seguintes componentes pode ser usado para produzir um valor fixo da tensão de referência?

[A] **Um diodo zener** (passe para o item 20).
[B] **Uma bobina de choque** (passe para o item 15).

27 *A resposta correta para a pergunta no item 19 é A. Quando diodos são ligados em série, suas capacidades de tensão inversa de pico somam-se. Quando são ligados em paralelo, suas capacidades de corrente direta somam-se.* Aqui está a próxima pergunta: ·

Um circuito retificador de ponte é:

[A] **Um retificador de meia onda** (passe para o item 21).
[B] **Um retificador de onda completa** (passe para o item 8).

28 *A resposta correta para a pergunta do item 24 é sim. Uma válvula amplificadora de potência pode funcionar como regulador.*

Você completou agora as questões programadas. A próxima etapa é colocar algumas dessas idéias em prática em experiências de laboratório. Passe para a seção experimental deste capítulo.

EXPERIÊNCIA

(A experiência descrita nesta seção pode ser realizada na placa de circuito descrita no Anexo C ou numa montagem similar de laboratório.)

■ FINALIDADE

Essa experiência demonstra a operação de um duplicador de tensão e de um retificador de ponte. Mostra também como medir a regulagem de uma fonte de alimentação.

■ TEORIA

Uma característica importante de uma fonte de alimentação é sua regulagem percentual. Matematicamente,

Regulagem percentual =

$$\frac{\text{tensão em vazio} - \text{tensão a plena carga}}{\text{tensão em vazio}} \times 100$$

em que, *tensão em vazio* = tensão da fonte de alimentação quando não está fornecendo corrente para um circuito externo

tensão a plena carga = tensão da fonte de alimentação quando está fornecendo sua corrente nominal máxima para um circuito externo.

Se a tensão de saída da fonte de alimentação não se altera quando está fornecendo uma corrente a plena carga, ela então possui uma regulagem de zero por cento. Uma queda na tensão da fonte de alimentação quando a fonte está fornecendo sua corrente em plena carga, significa que sua regulagem percentual é maior do que zero. Logo, é desejável uma baixa regulagem percentual.

■ MONTAGEM DO TESTE

As Figuras 6-21 e 6-22 mostram os circuitos a serem usados nesta experiência.

PRIMEIRA PARTE

■ PROCEDIMENTO

☐ *Etapa 1:* Realizar as ligações do circuito do duplicador de tensão conforme indicado na Figura 6-21.

☐ *Etapa 2:* Medir o valor rms da tensão alternada E_s sobre o secundário do transformador e anotar o valor.

E_S = ... **volts**

☐ *Etapa 3:* Determinar o valor de pico da tensão E_{pk} medido na Etapa 2.

E_{pk} = tensão de pico = 1.414 X E_S

= .... **volts**

☐ *Etapa 4:* Multiplicar por dois a tensão de pico E_{pk} obtida na Etapa 3.

2 X E_{pk} = ... **volts**

Esse é o valor da tensão contínua que deve ser obtido na saída do circuito duplicador de tensão.

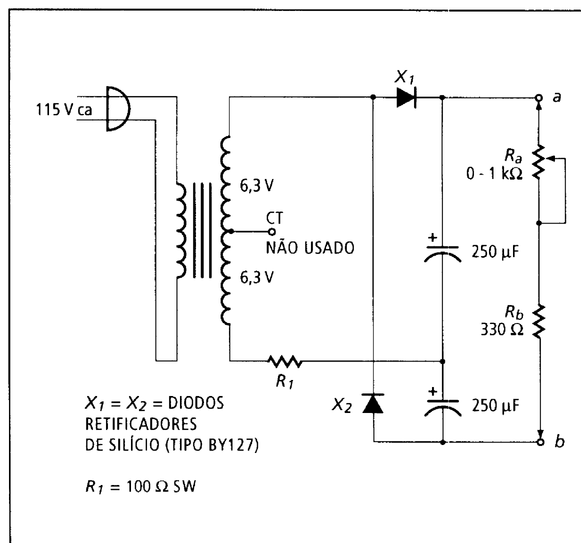


Fig. 6-21: Diagrama esquemático para o duplicador de tensão de onda completa para a primeira parte da experiência. O resistor R_1 é um resistor limitador de picos para proteger os diodos.

☐ *Etapa 5:* Com a resistência ligada em vazio, medir a tensão de saída contínua E_0 da fonte de alimentação. Essa é a tensão entre *a* e *b*. Anotar o valor.

E_0 = ... volts

Esse valor é igual ao valor determinado na Etapa 4? Pode explicar as razões dessa diferença? (Nota: isso será discutido na conclusão dessa experiência.)

☐ *Etapa 6:* Colocar o reostato R_a de 1 kilohm e o resistor fixo R_b de 47 ohms sobre a saída da fonte de alimentação. Ajustar a corrente de carga para 150 miliampères. Se um miliamperímetro não estiver disponível, ajuste a corrente medindo a tensão sobre o resistor de 47 ohms. A corrente será de 100 miliampères (0,100 ampère) quando a tensão sobre R_b for igual a 45 volts c.c. Isso é determinado pela lei de Ohm:

$$E = I \times R$$
$$= 0{,}100 \times 47$$
$$= 4{,}7 \text{ volts}$$

Medir a tensão de saída com a corrente de 100 miliampères. Essa tensão é representada por E'_0.

E'_0 = ... volts

☐ *Etapa 7:* Usando os valores determinados nas Etapas 5 e 6, determinar a regulagem da fonte de alimentação.

$$\text{Regulagem percentual} = \frac{E_0 - E'_0}{E_0} \times 100$$

= .... por cento

Esse cálculo é baseado na suposição de que a corrente de plena carga máxima para a fonte de alimentação é de 100 miliampères. Esse valor pode ser pequeno demais para sua fonte de alimentação, porém é usado como exemplo. Na prática, o fabricante ou o projetista pode definir a capacidade de plena carga da fonte.

SEGUNDA PARTE

■ PROCEDIMENTO

☐ *Etapa 1:* Realizar a ligação do circuito da ponte retificadora conforme mostrado no diagrama esquemático da Figura 6-22.

☐ *Etapa 2:* Com a resistência de carga ligada, medir a tensão de saída E_0 da fonte de alimentação e anotar o valor:

E_0 = ... volts

☐ *Etapa 3:* Ligar R_a e R_b entre os pontos *x* e *y* sobre a saída. Ajustar a corrente de carga para 100 miliampères, conforme foi feito na primeira parte. Medir e anotar a tensão de saída E'_0 com uma corrente de carga de 100 miliampères.

E'_0 = ... volts

☐ *Etapa 4:* Usando os valores medidos nas Etapas 2 e 3, determinar a regulagem da fonte de alimentação,

$$\text{Regulagem percentual} = \frac{E_0 - E'_0}{E_0} \times 100$$

= .... por cento

Como anteriormente visto, esse cálculo está baseado na suposição de que a corrente de plena carga da fonte de alimentação é de 100 miliampères.

☐ *Etapa 5:* Qual das duas fontes possui a melhor regulagem?

....

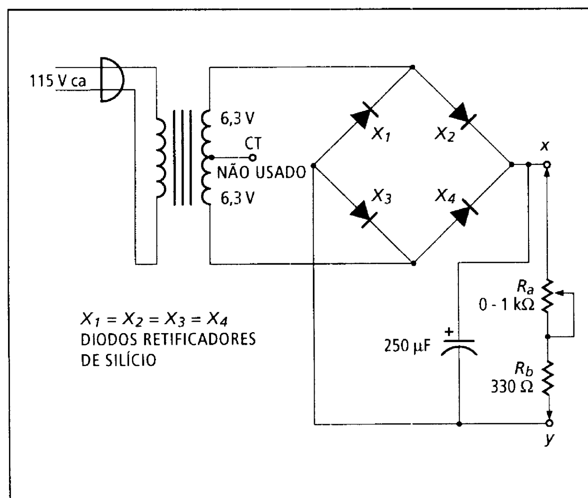


Fig. 6-22: Diagrama esquemático do retificador de ponte para a segunda parte da experiência.

■ CONCLUSÃO

A regulagem de um circuito retificador duplicador de tensão não é tão boa quanto a de um retificador de ponte. De fato, o duplicador de tensão possui a pior regulagem entre os circuitos retificadores estudados neste capítulo.

A tensão de saída de um duplicador de tensão é freqüentemente inferior ao valor calculado. O resistor limitador de pico impede o capacitor de carregar com o valor real. (Um voltímetro com baixa capacidade ohms-por-volt também pode abaixar a tensão terminal.)

Em razão de sua regulagem deficiente, o circuito duplicador de tensão é usado somente em circuitos em que a corrente de carga é bastante constante. Não é usado com freqüência como retificador numa fonte de alimentação que possui um regulador eletrônico de tensão. Se for necessário um regulador eletrônico, será preciso uma tensão de saída constante, e, geralmente, um circuito retificador de onda completa *não duplicador* é usado.

AUTOTESTE COM RESPOSTAS

(As respostas com discussões encontram-se no final do capítulo / pág. 134.)

1. A conversão de potência contínua em potência alternada é obtida com

(a) um transformador;
(b) um retificador;
(c) um conversor;
(d) um inversor.

2. Três diodos são ligados em série. Os diodos possuem os seguintes valores:

Diodo	TIP	Corrente Direta
1	1.000 volts	0,25 ampère
2	1.000 volts	0,1 ampère
3	500 volts	0,5 ampère

Qual é a corrente máxima que pode passar através da combinação?

(a) 0,25 ampère;
(b) 0,1 ampère;
(c) 0,5 ampère;
(d) 0,85 ampère.

3. Em relação aos três diodos da pergunta 2; qual é a capacidade TIP da combinação em série?

(a) 1.000 volts;
(b) 500 volts;
(c) 833 volts;
(d) 2.500 volts.

4. Em qual dos seguintes circuitos retificadores para fonte de alimentação é menos provável a utilização de um circuito regulador de tensão?

(a) ponte;
(b) onda completa;
(c) duplicador de tensão.

5. Qual dos seguintes componentes é usado para obter-se uma tensão de referência numa fonte de alimentação regulada?

(a) diodo zener;

(b) resistor;

(c) amplificador Darlington;

(d) resistor variável.

6. Qual dos seguintes componentes é usado em circuitos sensores para reguladores de fontes de alimentação?

(a) diodo zener;

(b) resistor;

(c) transistor de potência;

(d) indutor.

7. Qual das seguintes proposições é a equação correta para achar a regulagem percentual de carga de uma fonte de alimentação?

(a) Regulagem percentual =

$$\frac{\text{tensão em vazio} - \text{tensão a plena carga}}{\text{tensão em vazio}} \times 100$$

(b) Regulagem percentual =

$$\frac{\text{tensão a plena carga} - \text{tensão em vazio}}{\text{tensão a plena carga}}$$

8. Qual dos seguintes componentes é usado como regulador em série?

(a) diodo zener;

(b) resistor;

(c) transistor de potência;

(d) indutor.

9. Qual dos seguintes componentes é usado em circuitos de tensão de referência?

(a) diodo zener;

(b) resistor;

(c) transistor de potência;

(d) indutor.

10. Qual dos seguintes componentes é normalmente considerado o melhor?

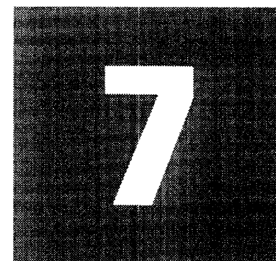
(a) uma fonte de alimentação com 100% de regulagem;

(b) uma fonte de alimentação com 0% de regulagem.

RESPOSTAS PARA O AUTOTESTE

1. (d) - Não confunda inversor com retificador, que converte corrente alternada em corrente contínua.
2. (b) - Se a corrente for maior que 0,1 ampère, o diodo 2 queimará.
3. (d) - A capacidade TIP é igual a soma das capacidades de cada diodo.
4. (c) - Os duplicadores de tensão possuem regulagens bastante deficientes. Se a regulagem for necessária, é melhor começar com circuito retificador que possui uma boa regulagem. Isso significa que os circuitos reguladores *nunca* são usados com circuitos duplicadores de tensão.
5. (a) - Descrito no Capítulo 2.
6. (b) - Um resistor variável pode ser usado para ajustar a tensão sensora em um valor desejado.
7. (a) - Lembre-se de que uma baixa regulagem percentual é desejável. Da mesma forma, a equação em (b) fornecerá um valor negativo, já que a tensão em vazio é sempre maior que a tensão a plena carga.
8. (c) - Transistores de potência podem ser ligados em paralelo para obter maior capacidade de corrente, ou um amplificador Darlington pode ser usado.
9. (a) - Diodos zener são usados para obter um valor fixo de tensão em muitos circuitos.
10. (b) - A melhor regulagem possível ocorre quando a regulagem percentual for 0 por cento.

O que é polarização e como é obtida?



INTRODUÇÃO

Vamos supor que você esteja dirigindo um carro a uma velocidade de 50 km por hora. Por razões de segurança, você poderia ir mais rapidamente, de modo a poder ultrapassar um outro carro, ou fugir de algum perigo. Da mesma forma, você pode parar o carro. Portanto, 50 km por hora é sua velocidade de cruzeiro.

Em casos especiais, é desejável dirigir o carro a quase sua velocidade máxima continuamente. Um exemplo disto é o carro de corrida. Porém, isto é uma exceção. Da mesma forma que você não deve dirigir um automóvel à sua velocidade máxima continuamente, você não deve operar constantemente uma válvula a vácuo ou um transistor à sua corrente máxima de saída. Se você fizer isto, não poderá mais aumentar a corrente de saída quando o sinal de entrada aumentar. Por esta razão, os amplificadores são, geralmente, operados de tal forma que sua corrente de saída, na ausência de sinal de entrada, seja menor que o máximo. Para conseguir isto, o eletrodo de controle do amplificador é operado com uma tensão contínua chamada de *polarização.* A tensão de polarização determina a corrente contínua de saída do componente amplificador, na ausência de sinal alternado de entrada.

Neste capítulo, você irá estudar como é obtida a tensão de polarização. Depois de estudar este capítulo, você poderá responder às seguintes perguntas:

- **Quais são as polaridades das tensões de polarização?**
- **Como é controlada a corrente de saída?**
- **O que é a polarização por Controle Automático de Volume?**
- **O que é a polarização por divisor de tensão?**
- **Como são polarizados os transistores com efeito de campo?**

INSTRUÇÃO

Quais são as polaridades das Tensões de Polarização?

Alguns dos dispositivos amplificadores exigem uma tensão de polarização positiva no eletrodo de controle, enquanto outros exigem uma tensão de polarização negativa. Quando você estiver procurando defeitos num circuito eletrônico, um dos métodos importantes que irá usar consiste em medir a tensão de polarização. Será necessário que você saiba se esta tensão deve ser positiva ou negativa, antes de medi-la.

Você deve esforçar-se para memorizar as polaridades das tensões sobre os vários eletrodos dos dispositivos amplificadores. Para tornar isto mais fácil, resumimos as tensões típicas na Figura 7-1. Todos os dispositivos amplificadores que exigem uma tensão positiva no eletrodo de controle são indicados na primeira coluna e aqueles que exigem uma tensão negativa sobre o eletrodo de controle são indicados na segunda coluna. Na mesma ilustração indicamos a polaridade da tensão sobre os eletrodos de controle, de saída e de entrada (cátodo, emissor e fonte).

A tensão sobre o eletrodo de entrada é sempre considerada zero em relação às outras tensões sobre os eletrodos. Para alguns dispositivos como os transistores bipolares NPN, você irá notar um sinal positivo sobre a base e um sinal positivo duplo sobre o coletor. Isto significa que as tensões do coletor e da base são positivas. Porém, o coletor é mais positivo que a base. A mesma relação existe para os transistores com efeito de campo do tipo aumento.

RESUMO

1. Válvulas e transistores não são operados continuamente à corrente contínua máxima de saída.
2. A tensão contínua de polarização na grade de uma válvula a vácuo determina o valor da corrente contínua da placa.
3. A corrente contínua da placa será menor que o valor máximo possível quando existe uma polarização contínua da grade.
4. A corrente contínua de polarização que flui no circuito da base de um transistor bipolar determina o valor da corrente contínua do coletor.
5. A corrente contínua do coletor será menor que o valor máximo possível quando há uma corrente contínua normal de polarização da base.
6. A tensão contínua de polarização de um transistor FET será menor que o valor da corrente contínua de dreno.
7. A corrente contínua de dreno de um transistor FET será menor que o valor máximo possível quando há uma tensão contínua normal de polarização da porta.
8. Uma vez que a corrente contínua de saída é menor que o valor máximo possível, a mesma pode ser aumentada ou diminuída por um sinal.

	Componentes que requerem uma tensão positiva sobre o eletrodo de controle	Componentes que requerem uma tensão negativa sobre o eletrodo de controle
Válvulas a vácuo	NENHUM	+ ++ ++ / - - + - + / 0 0 0 / TRIODO TETRODO PENTODO
Transistores bipolares	++ / C / + B / NPN / E / 0	-- / C / - B / PNP / E / 0
Transistores JFET	- / DRENO / + PORTA / TRANSISTOR JFET DE CANAL P / FONTE / 0	+ / - / TRANSISTOR JET DE CANAL P / 0
Transistores MOSFET tipo redução	- / D / + B / B / TRANSISTOR MOSFET DE CANAL P / F / 0	+ / D / - B / B / TRANSISTOR MOSFET DE CANAL N / F / 0
Transistores MOSFET tipo aumento	++ / D / + B / B / TRANSISTOR MOSFET DE CANAL N / F / 0	-- / D / - B / B / TRANSISTOR MOSFET DE CANAL P / F / 0

Fig. 7-1: Polaridades das tensões dos componentes amplificadores.

Como é controlada a Corrente de Saída?

Você aprendeu que a tensão ou corrente de polarização determina o valor da corrente contínua de saída, na ausência de sinal. A corrente de saída que flui quando o eletrodo de controle está na tensão ou na corrente de polarização, na ausência de sinal, é chamada de *corrente em vazio*. O efeito da mudança da tensão sobre o eletrodo de controle será discutido agora.

Como a Corrente de Polarização afeta a Corrente de Coletor?

A Figura 7-2 mostra a relação entre a corrente de base de um transistor bipolar NPN e sua corrente de coletor. A corrente

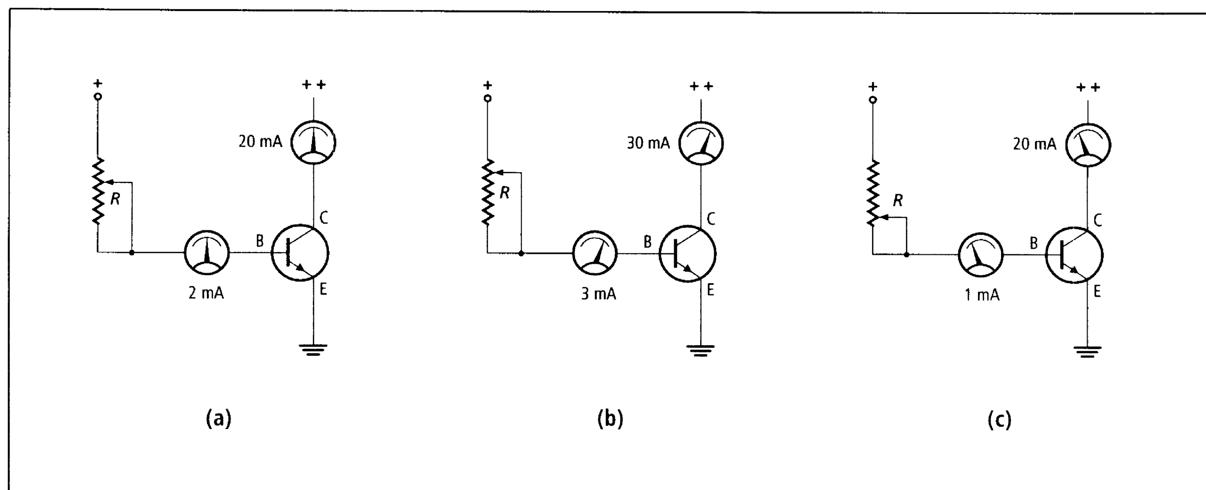


Fig. 7-2: A corrente de coletor varia quando a corrente de base varia: (**a**) corrente em vazio; (**b**) aumento da corrente de base; (**c**) redução da corrente de base.

de base flui através do resistor variável R_l sob uma tensão de alimentação positiva. O resistor é ligado como um reostato, de modo a controlar a intensidade da corrente que flui no circuito da base.

Na Figura 7-2a, o resistor *R* é ajustado, de modo que a corrente de base seja de 2 miliampères. Esta é a corrente de polarização na ausência de sinal e estabelece a corrente de coletor em 20 miliampères.

Na Figura 7-2b, o braço do resistor *R* foi deslocado, de modo a oferecer menos resistência ao fluxo da corrente de base. A corrente de base aumentou agora para 3 miliampères e a corrente de coletor para 30 miliampères. É necessária uma variação de 1 miliampère na corrente de base para produzir uma variação de 10 miliampères na corrente do coletor. Diz-se que o transistor *amplifica* a corrente. Quando usada desta maneira, a palavra *amplificar* significa produzir uma grande alteração na corrente do coletor, causando apenas uma pequena alteração na corrente da base.

Na Figura 7-2c, o resistor variável foi ajustado de modo a aumentar a resistência do circuito da base. Isto reduz a corrente da base para 1 miliampère. Agora, a corrente do coletor caiu para 10 miliampères.

Vamos resumir a ação na Figura 7-2. Asseguramos que a corrente de polarização da base na ausência de sinal é de 2 miliampères. Esta corrente de polarização pode aumentar ou diminuir acima ou abaixo de 2 miliampères. Conforme a corrente da base muda, a corrente de coletor muda também. Quando a corrente de polarização da base na ausência de sinal for de 2 miliampères, a corrente do coletor é de 20 miliampères. Esta não é a corrente máxima nem mínima que pode fluir no transistor. Isto é importante porque a mudança na corrente de base irá permitir o aumento ou a redução da corrente do coletor, de acordo com as mudanças na corrente de base.

Em vez de usar um resistor variável para alterar a corrente de base, poderíamos aplicar um sinal de entrada para a base. A tensão de sinal irá ou adicionar-se ou subtrair-se da polarização na ausência de sinal. Assim, sem sinal de entrada a corrente de base seria de 2 miliampères e o sinal iria aumentar ou diminuir a corrente de base da mesma forma que a mudança na resistência de *R* altera a corrente de base na Figura 7-2.

Como a Tensão de Polarização afeta a Corrente de Dreno?

A operação dos transistores JFET e MOSFET tipo redução é muito semelhante à operação das válvulas a vácuo.



Quando usamos o termo transistor *FET* estamos nos referindo a ambos os transistores JFET e MOSFET. Iremos usar os termos transistor JFET e transistor MOSFET quando nos referirmos a um dispositivo específico. Tanto as válvulas a vácuo como os transistores *FET*, usam uma tensão (sobre seus eletrodos de controle) para controlar a intensidade da corrente que flui através dos mesmos.

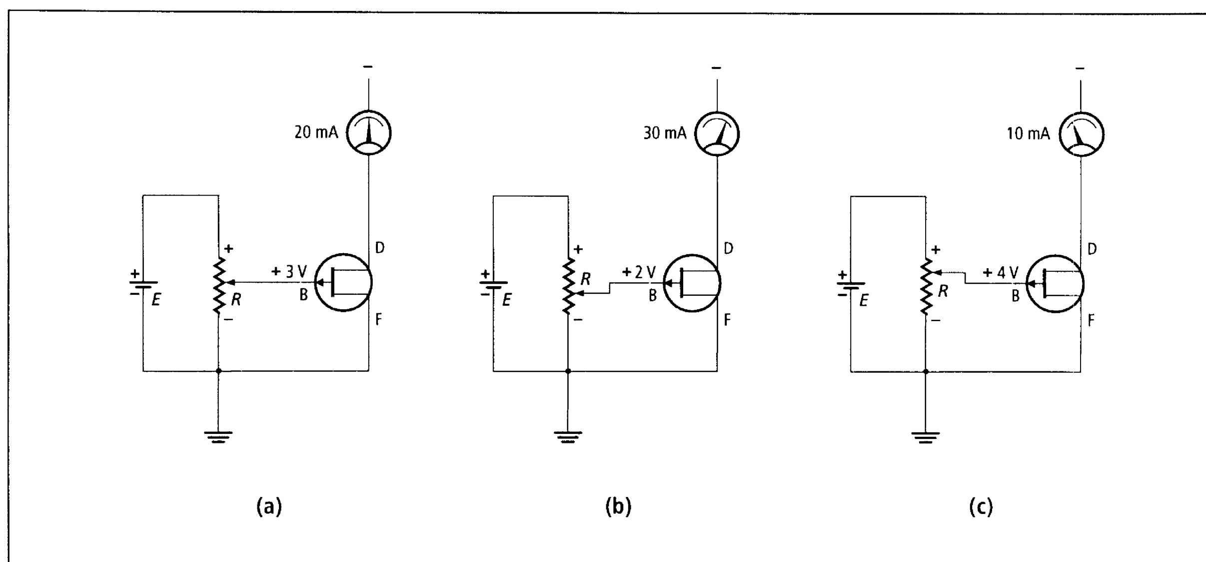


Fig. 7-3: A corrente de dreno varia quando a tensão da porta muda: (**a**) corrente em vazio; (**b**) porta menos positiva: (**c**) porta mais positiva.

Porém, lembre-se de que todas as válvulas requerem uma tensão negativa sobre sua grade, mas alguns tipos de transistores FET requerem uma tensão positiva na porta. Em outras palavras, as polaridades da tensão de polarização podem não ser as mesmas para todos os tipos de dispositivos amplificadores: observe novamente à Figura 7-1 e refresque sua memória sobre as polaridades das tensões de polarização dos transistores FET.

A Figura 7-3 mostra um exemplo de polarização sobre um transistor JFET de canal P. Vamos assegurar que a tensão de polarização na ausência de sinal nesta aplicação é + 3 volts. Isto é determinado por um resistor variável *R* sobre uma bateria. Neste caso, a tensão sobre *R* torna-se mais positiva, conforme você vai se afastando da terra.

Na Figura 7-3a a tensão de polarização na ausência de sinal é estabelecida em + 3 volts. Isto estabelece a corrente de dreno em 20 miliampères. Na Figura 7-3b, a tensão de polarização foi reduzida e isto aumenta a corrente de dreno. Lembre-se de que, num transistor JFET de canal P, quanto mais positiva for a tensão do bloqueio, menor é a corrente de dreno.

Na Figura 7-3c, a tensão de polarização foi aumentada para 4 volts. Isto reduz a corrente de dreno para 10 miliampères. Desta forma, a alteração na tensão de bloqueio causa alterações na corrente de dreno. Da mesma forma que na válvula, uma pequena alteração na tensão de controle causa uma alteração relativamente importante na corrente que flui através do componente.

Em todos os dispositivos descritos, a corrente ou tensão de polarização estabelece a intensidade da corrente que flui através do dispositivo. A corrente de saída foi sempre estabelecida, de modo que alterar a tensão de polarização causará um aumento ou uma diminuição da corrente de saída.

RESUMO

1. Num transistor bipolar, a corrente do coletor é considerada praticamente igual à corrente do emissor.
2. Num transistor bipolar, uma pequena alteração na corrente da base causa uma alteração importante na corrente do coletor.
3. Num transistor FET, uma pequena alteração da tensão da porta causa uma alteração importante na corrente de dreno.
4. As válvulas a vácuo e os transistores FET são dispositivos operados por tensão. Transistores bipolares são dispositivos operados por corrente.

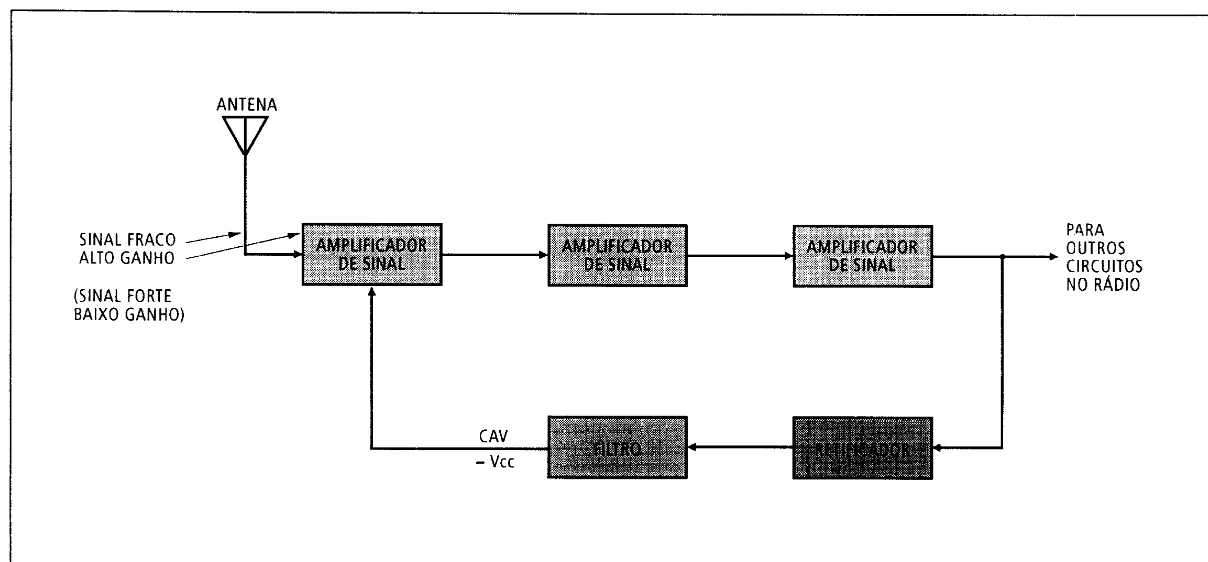


Fig. 7-4: Polarização por controle automático de volume num receptor de rádio.

O que é polarização por Controle Automático de Volume?

O último tipo de polarização de grade a ser discutido está indicado na Figura 7-4. Para explicar este tipo de polarização é necessário usar o diagrama de blocos de um simples receptor de rádio.

A antena apanha o sinal e fornece-o para um amplificador de sinal. O sinal amplificado por este estágio passa para um outro amplificador de sinal e, em seguida, para mais um amplificador de sinal. Todos os três amplificadores de sinal servem para a mesma finalidade: aumentar a tensão do sinal. Isto é necessário pelo fato de o sinal recebido pela antena ser muito fraco. Um valor típico de amplitude de sinal seria 50 microvolts (μV) – isto é, 50 milionésimos de um volt. Um sinal tão fraco não pode ser usado para operar um alto-falante.

Um outro problema desagradável com a recepção de rádio é que estações diferentes podem ser recebidas com intensidades de sinal radicalmente diferentes. Isto tornaria necessário reajustar freqüentemente o controle de volume. Além disso, como no caso do rádio de automóvel, o volume de qualquer estação pode variar em diversas localizações. Também pode ocorrer uma condição de "fading" (diminuição repentina do volume do som), causando mudanças periódicas no volume do som.

Para ajudar a eliminar o problema de graus variáveis de volume, um circuito de controle automático de volume é usado nos aparelhos de rádio (e de televisão). Refira-se mais uma vez à Figura 7-4. Parte do sinal de saída do último amplificador de sinal é retificada e filtrada da mesma forma como você retifica e filtra a tensão alternada da linha de distribuição de energia para obter uma tensão contínua. A tensão contínua neste caso é chamada *tensão de controle automático de volume* e é negativa. A tensão de controle automático de volume é fornecida para a grade do primeiro amplificador de sinal e é usada para controlar o ganho deste amplificador. Quanto mais negativa for a tensão da grade, menor será o ganho. Inversamente, quanto menos negativa for a tensão da grade, maior será o ganho.

A tensão de controle automático de volume é sempre tal que, quando o sinal é fraco, a tensão negativa de controle automático de volume é baixa, de modo que o ganho do primeiro amplificador de sinal é elevado. Da mesma forma, quando o sinal é forte, a tensão negativa de controle automático de volume é alta, de modo que o ganho do primeiro amplificador é baixo. O ganho do primeiro amplificador de sinal controla o volume do som no alto-falante.

Quase todos os receptores possuem um circuito semelhante àquele indicado na Figura 7-4. Em receptores de televisão não é chamado controle automático de volume. Em vez disso, é chamado *controle automático de ganho,* uma vez que a ação controla a intensidade da imagem, assim como a intensidade do som.

RESUMO

1. Conhecer o método usado para obter polarização num dispositivo amplificador é um indício para entender a operação do circuito.
2. Os circuitos de polarização para transistores bipolares são um pouco diferentes dos circuitos de polarização para transistores FET.
3. A polarização direta para a base de um transistor bipolar, é geralmente tirada da tensão que alimenta o coletor.
4. Uma fonte de alimentação separada pode ser usada para obter a tensão de polarização contínua.
5. A polarização por contato usa um valor alto de resistência para o resistor de grade para obter a tensão de polarização. Elétrons que batem na grade voltam para o cátodo através deste resistor. A queda de tensão sobre o resistor da grade é chamada polarização de grade.
6. A polarização automática, também chamada de *polarização de cátodo ou autopolarização*, é obtida quando a corrente do cátodo flui através de um resistor de cátodo.
7. A polarização por fuga de grade, que é também chamada de *polarização por sinal*, é obtida usando-se o sinal de entrada para carregar o capacitor de acoplamento de entrada. Quando o sinal torna-se negativo, o capacitor descarrega-se através do resistor de grade, produzindo a polarização.
8. Existem dois pontos muito importantes a serem lembrados acerca da polarização por fuga de grade: (a) a corrente de grade deve fluir durante um curto período de tempo, durante cada alternância positiva para carregar o capacitor; (b) a perda do sinal de entrada significa perda da polarização por fuga de grade.
9. Normalmente, uma perda de polarização significa um fluxo excessivo de corrente de placa. Muitos tipos de válvulas podem ser danificados se a polarização for perdida.
10. Um circuito de controle automático de volume é usado para polarizar o amplificador de um receptor de rádio. A polarização funciona de modo a manter o som de saída constante apesar das variações de intensidade do sinal recebido.

Como é obtido o Movimento Oblíquo nos Circuitos Transistores Bipolares?

Os transistores bipolares diferem dos transistores a válvula e de efeito-de-campo em muitos aspectos importantes. Tanto as válvulas quanto os efeitos-de-campo são mecanismos acionados por voltagem. Isso significa que a energia aplicada deve ter uma voltagem que controle a placa ou a corrente condutora. Além disso, no funcionamento normal das válvulas e efeitos-de-campo não é comum haver fluxo de corrente na placa ou na entrada.

A corrente básica de emissão deve fluir em um circuito transistor bipolar a fim de que a corrente coletora também o faça. Em outras palavras, o transistor funciona de tal maneira que a corrente ociosa não assinalada no circuito coletor é obtida somente se houver um fluxo corrente no circuito básico de emissão.

O que é uma Polarização Simples?

Um circuito simples de polarização de base para um transistor bipolar está indicado na Figura 7-5. Apesar de um transistor NPN ser indicado na ilustração, o mesmo circuito básico é usado para transistores PNP.

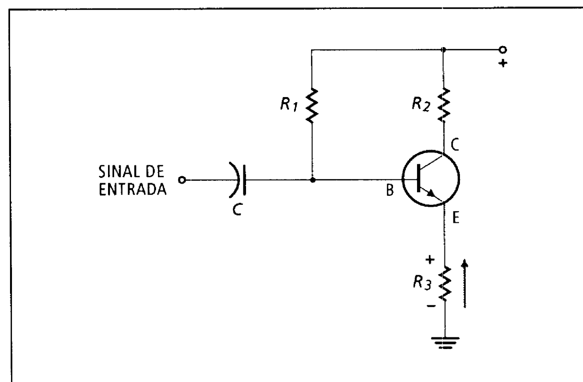


Fig. 7-5: Polarização simples.

A única diferença está na polaridade das tensões aplicadas (negativas, tanto na base como no coletor). (O mesmo vale para todos os circuitos de transistores bipolares discutidos neste capítulo; isto é, transistores NPN são indicados, mas os transistores PNP podem também ser usados se as polaridades da tensão forem invertidas.)

A base do transistor na Figura 7-5 está ligada à tensão positiva de alimentação através de R_1. O coletor está ligado à tensão positiva de alimentação através de R_2. Existe um caminho completo para a corrente através de R_3, dentro do emissor do transistor e, em seguida, através de R_1 e R_2. Em operação normal, a corrente de base que flui através de R_1 deve ser muito menor que a corrente do coletor em vazio. Aqui a polarização direta é fornecida pela corrente emissor-base, através de R_3 e R_1.

O sinal de entrada através do capacitor de acoplamento *C* aumenta e diminui a tensão da base. Isto, por sua vez, causa um aumento e uma diminuição da corrente de base. Variar a corrente de base causa também uma variação da corrente de coletor, amplificando-a.

O resistor R_1 *não* polariza o circuito transistorizado. Ele é chamado *resistor de estabilização do emissor.* Sua finalidade é proteger o transistor de uma corrente excessiva no circuito do coletor. Se, por alguma razão, a temperatura do transistor aumentasse acima de um certo limite, a resistência do transistor iria diminuir. Isto iria fazer a corrente do coletor aumentar para um valor muito elevado. Aumentar a corrente do coletor iria causar maior aquecimento do transistor provocando uma queda adicional de sua resistência. Muito rapidamente, o transistor seria danificado pela corrente alta do coletor.

Quando R_3 está ligado no circuito do emissor, qualquer aumento importante na corrente contínua irá causar um aumento na tensão do emissor. No transistor NPN indicado, ele torna o emissor mais positivo, com relação à terra. Num transistor NPN, o emissor deve ser negativo em relação à base, para permitir um fluxo de corrente de coletor. Tornar o emissor mais positivo tem o mesmo efeito que tornar a base menos positiva. Isto reduz a corrente do coletor e impede a sobrecarga térmica. Você irá estudar mais sobre resistores de emissor no capítulo sobre amplificadores (Capítulo 13).

O que é polarização por Divisor de Tensão?

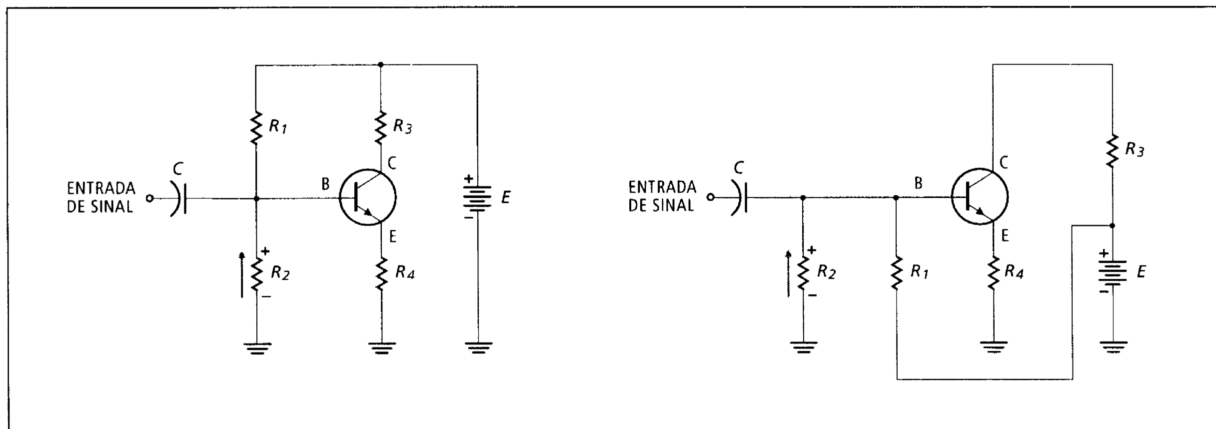
A maioria dos transistores bipolares que você encontra em circuitos amplificadores é polarizada pelo método indicado na Figura 7-6. Isto é chamado *polarização por divisor de tensão.* Ambos os circuitos na Figura 7-6 são eletricamente idênticos. A única diferença entre os dois está na maneira pela qual os circuitos estão desenhados. (Indicamos apenas um transistor NPN.)

Em ambos os circuitos, os resistores R_1 e R_2 são ligados diretamente sobre a bateria *E*. Haverá uma queda de tensão sobre cada resistor de modo que a tensão na base do transistor tenha algum valor positivo acima do potencial da terra para um transistor NPN. O valor da tensão positiva na base depende dos valores de R_1 e R_2. A seta ao lado de R_2 mostra a direção do fluxo de elétrons no circuito. Isto explica a tensão positiva sobre a base que, por sua vez, causa a corrente de polarização direta base-emissor necessária. .

O resistor R_3 é um resistor de carga do coletor. A tensão de sinal será desenvolvida sobre este resistor num circuito amplificador. O resistor R_4 é o resistor de proteção semelhante a R_3 na Figura 7-5.

Conforme dissemos, o sinal de entrada fornecido através do capacitor *C* aumenta e diminui a tensão da base. Isto altera a corrente da base, variando assim a corrente do coletor, através de R_3, de maneira amplificada.

Fig. 7-6: Duas maneiras de desenhar o mesmo circuito de polarização por divisor de tensão.



Como são usadas Fontes Separadas para polarizar Transistores Bipolares?

Nos circuitos indicados nas Figuras 7-5 e 7-6, uma única fonte de alimentação é usada para obter tanto a polarização da base como a tensão do coletor. É também possível usar duas fontes separadas para esta finalidade.

A Figura 7-7 mostra como um transistor NPN pode ser energizado usando-se uma bateria para o circuito da base e uma para o circuito do coletor. O sinal de entrada é fornecido através do capacitor C e desenvolvido sobre o resistor R_1. A bateria E coloca uma tensão positiva sobre a base, em relação ao emissor. Portanto, há um fluxo de corrente base-emissor. O resistor R_2 é o resistor de estabilização do emissor, mencionado anteriormente.

A corrente do coletor é obtida com uma tensão positiva sobre o coletor do transistor. Esta corrente flui através do resistor de carga R_3. Num amplificador, a tensão do sinal de saída será também desenvolvida sobre este resistor.

A desvantagem do circuito da Figura 7-7 é que duas baterias diferentes são necessárias, de modo que não é um circuito usado freqüentemente. Porém, você poderá ver este arranjo em alguns circuitos básicos para amadores.

Duas fontes de alimentação separadas podem ser usadas em vez das duas baterias indicadas na Figura 7-7. Como no caso das baterias, esta conexão ficaria cara e, portanto, é raramente usada.

Como é usada a polarização por Controle Automático de Volume com Transistores Bipolares?

Os circuitos amplificadores de Rádio-Freqüência e Frequência Intermediária dos Rádios e Televisores, empregam Controle Automático de Ganho para controlar automaticamente a amplificação. Essa forma de controle se resume em fazer o ganho do transistor aumentar ou diminuir, de acordo com a amplitude do sinal a ser amplificado.

O ganho de corrente de um transistor bipolar pode ser controlado pela variação na tensão de polarização de base. A configuração mais empregada nos amplificadores de R-F e F-I é Emissor-Comum. O fator de amplificação de corrente nessa configuração é chamado Beta (β).

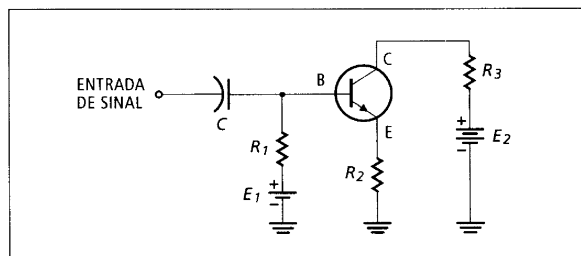


Fig. 7-7: Polarização por bateria para um transistor NPN.

O fator de amplificação Beta pode ser obtido pela divisão da corrente de coletor, pela corrente de base do transistor bipolar. Ou seja, $\beta = I_c/I_b$.

O fator de amplificação de corrente Beta, muda com a temperatura e com a corrente de coletor. Assim, para alterar o ganho de corrente de um transistor bipolar, provoca-se uma mudança na tensão de polarização de base. A tensão de polarização de um transistor bipolar é geralmente obtida através de um resistor ligado à mesma bateria, ou fonte que alimenta o coletor. No caso do Controle Automático de Ganho (C.A.G.), a tensão de polarização de base é obtida através de um resistor ligado a um circuito especial de C.A.G. Esse circuito obtém uma "amostra" do sinal a ser amplificado, do Detetor de Áudio ou de Vídeo.

O C.A.G. polariza a base dos transistores de R-F e F-I, baseando-se na amplitude do sinal que vem da emissora de rádio ou de TV. O sinal de uma emissora distante chega ao receptor com amplitude fraca, e a amplificação de R-F ou F-I deve ser alta. Um sinal forte requer baixa-amplificação. O circuito de C.A.G. tem a função de promover um controle automático na amplificação dos circuitos de R-F e F-I.

RESUMO

1. Nos circuitos transistorizados, a corrente de base é sempre menor que a corrente do coletor.
2. Num circuito de transistores bipolares, a corrente *deve* fluir no circuito da base.
3. Baterias separadas podem ser usadas para obter a tensão de polarização da base e a tensão do coletor.
4. Fontes de alimentação separadas podem ser usadas para obter a tensão de polarização da base e a tensão do coletor.

5. A tensão de polarização da base pode ser obtida a partir um simples resistor ligado entre a base e a fonte de alimentação. Isto é chamado *polarização simples*.
6. Um divisor de tensão pode ser usado para obter a tensão de base necessária para polarizar um transistor.
7. Um transistor pode ser polarizado com uma tensão de controle automático de volume (ou de controle automático de ganho).
8. Se uma redução de corrente de polarização da base do controle automático de volume causa uma redução no ganho do amplificador transistorizado, isto é chamado *controle automático de volume reverso*.
9. Se um aumento da corrente de polarização da base do controle automático de volume causa uma redução no ganho do amplificador transistorizado, isto é chamado *controle automático de volume direto*.
10. Os transistores não são polarizados pelos seguintes métodos: polarização de contato, autopolarização ou polarização por fuga de grade.
11. A relação entre corrente de coletor e corrente de base é expressa pela letra grega β.

Como são polarizados os Transistores com Efeito de Campo?

Muitos circuitos de polarização empregados em transistores bipolares são também usados em transistores de efeito de campo. Exceção é feita para polarização por contato.

A Figura 7-8 mostra alguns exemplos de circuitos de polarização com transistores FET de canal N. O circuito ilustrado na Figura 7-8a pode ser usado somente com certos transistores com efeito de campo. Aqui, o transistor FET não tem polarização e este sistema pode ser usado somente em circuitos onde o sinal de entrada é muito pequeno. Aqui, mais uma vez, você não deve confundir-se com o arranjo do circuito. Este circuito é muito parecido com um circuito de polarização por contato para válvulas a vácuo. Porém, lembre-se de que a polarização por contato depende de um pequeno fluxo de corrente de grade, e nos transistores JFET e MOSFET não se tem fluxo algum de corrente no circuito da porta. Lembre-se de que todos os transistores JFET possuem uma região de redução em volta da base. Esta região de redução, ilustrada na Figura 7-9, está presente, quer haja ou não um sinal de entrada.

A pequena quantidade de sinal de entrada no circuito da Figura 7-8a atinge a porta do transistor JFET através do capacitor de acoplamento *C* e é desenvolvida sobre o resistor de porta R_B. Esta tensão de sinal aumenta e diminui o tamanho da região de redução em volta da porta, controlando assim o fluxo da corrente de dreno.

É preciso repetir que o sinal de entrada deve ser muito pequeno para o tipo de polarização indicado na Figura 7-8a. Se o sinal de entrada for grande demais,

Fig. 7-8: Exemplos de circuitos de polarização para transistores FET: (**a**) sem polarização; (**b**) polarização por bateria; (**c**) fonte de alimentação ou controle automático de ganho; (**d**) polarização por divisor de tensão para transistores MOSFET tipo aumento.

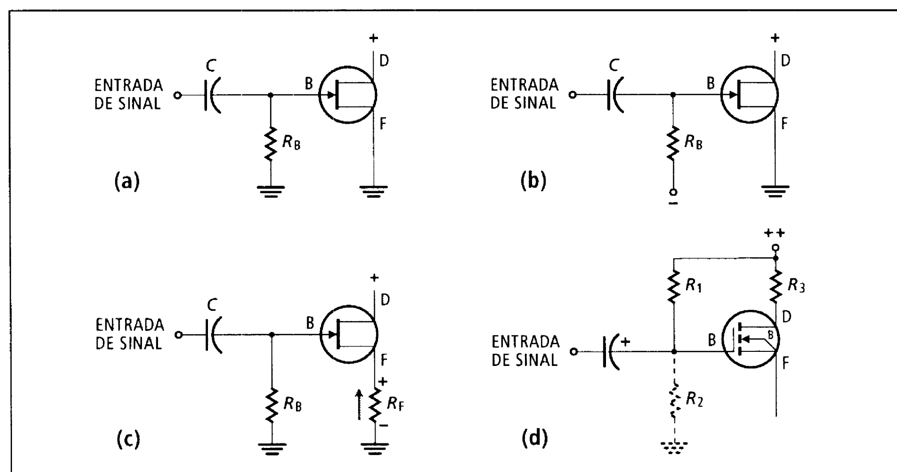
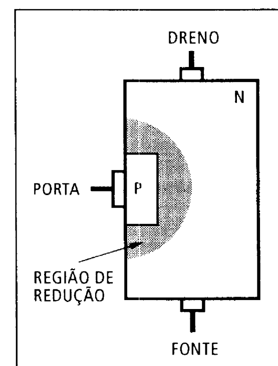


Fig. 7-9: Região de redução num transistor JFET.



Tipo de Polarização	Usada com válvulas a vácuo?	Usada com transistores bipolares?	Usada com transistores JFET e MOSFET tipo redução?	Usada com transistores MOSFET tipo aumento?
CAV (ou CAG)*	Sim	Sim	Sim	Raramente
Bateria	Sim	Sim	Sim	Sim
Contato	Sim	Não	Não	Não
Fuga de grade	Sim	Não	Não	Não
Sem polarização	Não (a válvula pode ser danificada)	Não (desligamento do transistor)	Sim (somente para sinais de baixa amplitude)	Possível mas não usado
Fonte de Alimentação	Sim	Sim	Sim	Sim
Autopolarização	Sim	Não	Sim	Não
Simples	Não	Sim	Não	Sim
Divisor de Tensão	Sim	Sim freqüentemente	Raramente	Sim

* CAV = Controle Automático de Volume
CAG = Controle Automático de Ganho

Tabela 7-1: Usos de vários tipos de polarização.

os picos de sinal irão causar polarização reversa na junção da porta e o transistor pode ser destruído. Se um transistor bipolar for operado sem polarização, o transistor é desligado porque é necessário haver um fluxo de corrente de base para obter um fluxo de corrente de coletor. Somente um transistor FET pode ser operado sem polarização, como na Figura 7-8a. Este circuito funciona tanto com transistores JFET de canal N e P como com transistores MOSFET tipo redução.

A Figura 7-8b mostra um transistor FET ligado a um tipo externo de polarização. A tensão de polarização negativa pode vir de uma bateria separada, de uma fonte de alimentação separada ou da tensão de controle automático de volume num receptor.

A Figura 7-8c mostra um circuito autopolarizado para um transistor FET. Este circuito é também chamado *polarização automática* ou *polarização de fonte*. A corrente que flui através do resistor de fonte, indicada por uma seta, torna a fonte do transistor FET positiva em relação à terra. A porta está no potencial contínuo da terra, através do resistor R_B. Portanto, a fonte é positiva em relação à porta. (Isto é uma outra maneira de dizer que a porta é negativa em relação à fonte.) Esta é a polarização necessária para um transistor JFET de canal N.

Para transistores MOSFET tipo aumento, a tensão da porta deve ter a mesma polaridade que a tensão de dreno. Desta forma, é semelhante aos transistores bipolares pelo fato de a base e o coletor terem as mesmas polaridades de tensão. A Figura 7-8d mostra como um transistor MOSFET tipo aumento pode ser polarizado. Um componente de canal N está indicado, e tanto a porta como o dreno devem ter uma tensão positiva para operação adequada. O dreno recebe sua tensão positiva através do resistor de carga R_3. A porta recebe sua tensão positiva de polarização através do resistor de porta R_1.

Em vez de um único resistor, conforme indicado na Figura 7-8d, é possível usar um divisor de tensão (semelhante àquele da Figura 7-6 / pág. 141). Para um divisor de tensão, R_1 e R_2 são usados.

Na Tabela 7-1 são indicados os diversos tipos de polarização usados para dispositivos amplificadores.

RESUMO

1. Para sinais de entrada de amplitude muito baixa, um transistor FET pode ser operado sem qualquer polarização.
2. O circuito sem polarização funciona tanto para transistores JFET como para transistores MOSFET tipo redução.
3. Um transistor FET pode ser polarizado com uma bateria separada.
4. Um transistor FET pode ser polarizado com uma fonte de alimentação separada.
5. Uma tensão de controle automático de volume (ou controle automático de ganho) pode ser usada para polarizar um transistor FET.
6. Autopolarização pode ser usada com um transistor FET. Um resistor de fonte é usado e sua operação é semelhante ao uso de um resistor de polarização de cátodo para operação de uma válvula.

PERGUNTAS DE REVISÃO PROGRAMADA

(As instruções para usar esta seção de Revisão Programada são fornecidas no Capítulo 1 / pág. 8.)

Aqui iremos rever os conceitos mais importantes deste capítulo. Se você tiver entendido o material deste capítulo, poderá progredir facilmente por meio desta seção. Não pule este material, porque nele apresentamos algumas informações teóricas adicionais.

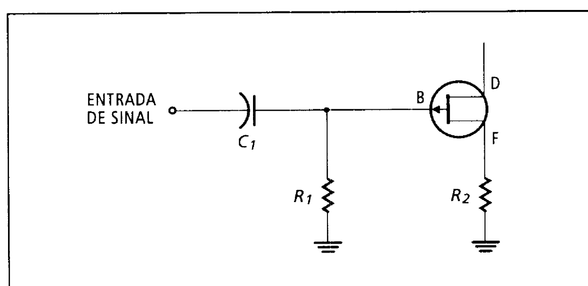


Fig. 7-10: Qual é a polaridade da fonte em relação à porta?

1 **No circuito da Figura 7-10, o transistor JFET é autopolarizado pelo resistor de fonte R_2. O fluxo de corrente através deste resistor torna a fonte:**

[A] **Positiva em relação à porta** (passe para o item 9).
[B] **Negativa em relação à porta** (passe para o item 17).

2 *Se sua resposta para a pergunta no item 7 é B, está errada. Um transistor bipolar não tem um fluxo de corrente de contato de modo que não pode ser polarizado por este método.* Passe para o item 14.

3 *Se sua resposta para a pergunta no item 12 é A, está errada. Quando não há polarização sobre um transistor bipolar, o transistor é desligado. Portanto, não pode ser usado como amplificador para sinais muito fracos.* Passe para o item 27.

4 *Se sua resposta para a pergunta no item 21 é C, está errada. Um curto-circuito entre o emissor e a base de um transistor bipolar irá desligar o transistor.* Passe para o item 24.

5 *A resposta correta para a pergunta no item 16 é B. O termo corrente quiescente é, às vezes, usado em lugar da corrente em vazio.* Aqui está a próxima pergunta:

Aumentar a corrente da base de um transistor bipolar irá causar:

[A] **Um aumento na corrente do coletor** (passe para o item 13).
[B] **Uma redução na corrente do coletor** (passe para o item 19).

6 *Se sua resposta para a pergunta no item 18 é B, está errada. A Figura 7-1 mostra as polaridades das tensões de polarização para todos os componentes amplificadores populares. Estude esta ilustração e, em seguida,* passe para o item 22.

7 *A resposta correta para a pergunta no item 13 é B. O resistor de fonte é usado para autopolarização, sendo também chamado de **polarização automática**. Realiza o mesmo trabalho que o resistor de polarização de cátodo num circuito de válvulas.* Aqui está a próxima pergunta:

A polarização de contato é usada para:

[A] **Circuitos de transistores MOSFET** (passe para o item 25).
[B] **Circuitos de transistores bipolares** (passe para o item 2).
[C] **Circuitos de válvulas** (passe para o item 14).

8 *Se sua resposta para a pergunta no item 14 é B, está errada. A Figura 7-6 mostra como a polarização por divisor de tensão é usada com um transistor NPN. Qualquer polarização usada com um transistor NPN pode também ser usada com um transistor PNP. Evidentemente, as polaridades das tensões devem ser alteradas.* Passe para o item 21.

9 *Se sua resposta para a pergunta no item 1 é A, está errada. A Figura 7-10 mostra o transistor JFET de canal P. Com um transistor JFET de canal P, a fonte deve ser negativa em relação à porta.* Passe para o item 17.

10 *Se sua resposta para a pergunta no item 17 é A, está errada.* Passe para o item 18.

11 *Se sua resposta para a pergunta no item 22 é A, está errada. Estude a Figura 7-1 e, em seguida,* passe para o item 16.

12 *A resposta correta para a pergunta no item 24 é A. Um curto-circuito do cátodo para a grade irá remover a polarização da grade. A corrente de placa irá tornar-se excessiva e a válvula pode ser danificada se operada sem polarização.*
Aqui está a próxima pergunta:

Qual dos seguintes componentes pode ser operado como amplificador de classe A sem qualquer polarização para amplificar sinais muito fracos?

[A] **Um transistor bipolar** (passe para o item 3).
[B] **Um transistor JFET** (passe para o item 27).

13 *A resposta correta para a pergunta no item 5 é A. Um aumento na corrente de base pode ser obtido aumentando-se a tensão sobre a base.* Aqui está a próxima pergunta:

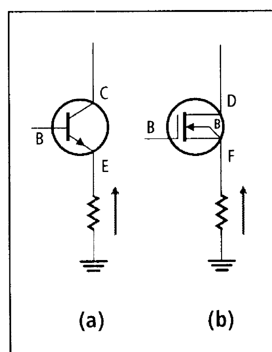


Fig. 7-11: Qual dos circuitos é um circuito de polarização?

Qual dos seguintes procedimentos é um método para obter uma tensão contínua de polarização?

[A] **Corrente de emissor fluindo através de um resistor, conforme indicado na Figura 7-11a** (passe para o item 26).
[B] **Corrente de fonte fluindo através de um resistor de fonte, conforme indicado na Figura 7-11b** (passe para o item 7).

14 *A resposta correta para a pergunta no item 7 é C. A polarização por contato depende do fato de que alguns elétrons batem na grade e devem ser retornados para o cátodo. O fluxo destes elétrons é chamado corrente de contato. Este não ocorre em transistores bipolares ou MOSFET.* Aqui está a próxima pergunta:

A afirmação seguinte é certa ou errada? A polarização por divisor de tensão pode ser usada com transistores PNP.

[A] **Certo** (passe para o item 21).
[B] **Errado** (passe para o item 8).

15 *Se sua resposta para a pergunta no item 21 é A, está errada. Um curto-circuito entre o emissor e a base de um transistor bipolar irá desligar o transistor.* Passe para o item 24.

16 *A resposta correta para a pergunta no item 22 é B. As polaridades corretas estão indicadas na Figura 7-1. Você deve conhecer as tensões corretas para cada componente. Uma vez que você sabe qual deveria ser a tensão em cada ponto, pode medir a tensão com um voltímetro. Se achar que a polaridade da tensão está errada, achou uma causa provável de problemas.* Aqui está a próxima pergunta:

Quando o eletrodo de controle de uma válvula ou de um transistor possui apenas a tensão ou a corrente de polarização, a corrente de saída através do dispositivo é chamada:

[A] **Corrente reversa** (passe para o item 23).
[B] **Corrente em vazio** (passe para o item 5).

17 *A resposta correta para a pergunta no item 1 é B. Para o dispositivo de canal P da Figura 7-10, a fonte deve ser negativa em relação à porta. A corrente flui da fonte para a terra através de R_2. Desta forma, a fonte é negativa em relação à terra. A porta está no potencial da terra, de modo que a porta é positiva em relação à fonte. Esta é a polaridade correta da tensão.*
Aqui está a próxima pergunta:

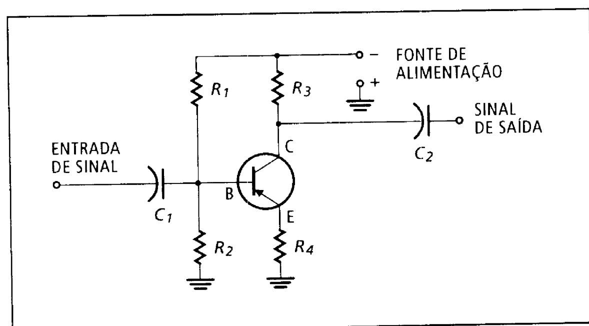


Fig. 7-12: Polarização por divisor de tensão (R_1 e R_2).

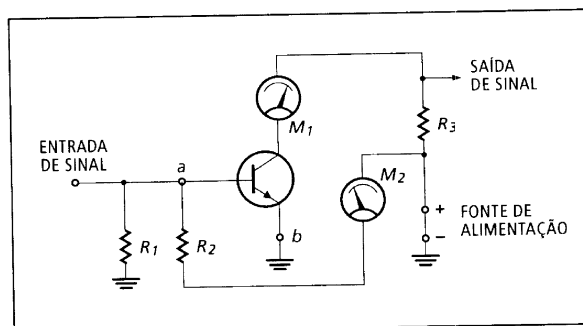


Fig. 7-13: Como um curto-circuito entre os pontos *a* e *b* irá afetar as correntes?

Qual das seguintes baterias é uma bateria usada para obter a polarização de grade?

A **Uma bateria A** (passe para o item 10).

B **Uma bateria C** (passe para o item 18).

18 *A resposta correta para a pergunta no item 17 é B. Uma bateria A é usada como fonte de alimentação para o filamento.* Aqui está a próxima pergunta:

Qual dos seguintes transistores requer uma tensão positiva de polarização em seu eletrodo de controle?

A **Transistor JFET canal P** (passe para o item 22).

B **Transistor JFET canal N** (passe para o item 6).

19 *Se sua resposta para a pergunta no item 5 é B, está errada. Qualquer que seja o tipo de transistor bipolar (NPN ou PNP), a corrente do coletor irá aumentar quando você aumenta a corrente da base. Isto parte do pressuposto de que o coletor está ligado a uma fonte de alimentação.* Passe para o item 13.

20 *Se sua resposta para a pergunta no item 24 é B, está errada. A polarização de grade é necessária numa válvula para limitar a corrente da placa. Um curto-circuito entre o cátodo e a grade irá eliminar a tensão de polarização da grade.* Passe para o item 12.

21 *A resposta correta para a pergunta no item 14 é A. A Figura 7-12 mostra um transistor PNP com polarização por divisor de tensão.* Aqui está a próxima pergunta:

No circuito da Figura 7-13 o amperímetro M_1 mede a corrente do coletor e o amperímetro M_2 mede a corrente da base. Se você ligar um fio do ponto *a* para o ponto *b*.

A **O transistor será destruído por causa da corrente excessiva no coletor** (passe para o item 15).

B **A corrente do coletor será zero e o transistor não será destruído** (passe para o item 24).

C **Nada irá ocorrer** (passe para o item 4).

22 *A resposta correta para a pergunta no item 18 é A. Uma tensão positiva de polarização sobre a porta é necessária para o transistor JFET canal P.* Aqui está a próxima pergunta:

Qual tipo de transistor MOSFET requer uma tensão positiva sobre sua porta e uma tensão positiva sobre seu dreno?

A **MOSFET canal N tipo redução** (passe para o item 11).

B **MOSFET canal N tipo aumento** (passe para o item 16).

23 *Se sua resposta para a pergunta no item 16 é A, está errada. Não houve discussão de qualquer tipo sobre corrente reversa em relação à corrente de saída.* Passe para o item 5.

24 *A resposta correta para a pergunta no item 21 é B. Com um curto-circuito entre os pontos a e b, não haverá corrente do emissor para a base dentro do transistor. Em vez disso, toda esta corrente irá fluir através do curto-circuito. Num transistor bipolar deve haver uma corrente emissor-base para obter-se uma corrente de coletor. Portanto, este curto-circuito irá interromper a corrente do coletor. O curto-circuito emissor-base é às vezes usado pelos técnicos para determinar se o transistor está funcionando num circuito.* Aqui está a próxima pergunta:

Um curto-circuito do cátodo para a grade de uma válvula triodo

[A] **Pode danificar a válvula devido a corrente de placa excessiva** (passe para o item 12).

[B] **Não terá efeito algum sobre a operação da válvula** (passe para o item 20).

25 *Se sua resposta para a pergunta no item 7 é A, está errada. Um transistor MOSFET não tem fluxo de corrente de contato de modo que não pode ser polarizado por este método.* Passe para o item 14.

26 *Se sua resposta para a pergunta no item 13 é A, está errada. O resistor do emissor é usado para estabilização contra mudanças de temperatura. Não é um resistor de polarização.* Passe para o item 7.

27 *A resposta correta para a pergunta no item 12 é B. Sinais muito pequenos sobre a porta irão causar uma alteração do tamanho da área de redução. Isto, por sua vez, irá causar uma alteração da corrente de dreno.* Aqui está a próxima pergunta:

Para um transistor MOSFET canal P tipo redução, a porta é normalmente positiva ou negativa em relação à fonte?

....

(Passe para o item 28).

28 *A porta de um transistor MOSFET canal P tipo redução é normalmente positiva em relação à fonte.*

Você completou agora as perguntas de revisão programada. O próximo passo consiste em pôr algumas destas idéias em prática, em experiências de laboratório. Passe para a seção de experiências deste capítulo.

EXPERIÊNCIAS

(As experiências descritas nessa seção podem ser realizadas na placa de circuito descrita no Anexo C ou numa montagem similar de laboratório.)

■ FINALIDADE

A finalidade desta experiência é mostrar como realizar medições num circuito com transistores JFET e também mostrar o que estas medições indicam sobre o amplificador. Neste capítulo, você aprendeu como é obtida a tensão de polarização para o transistor JFET.

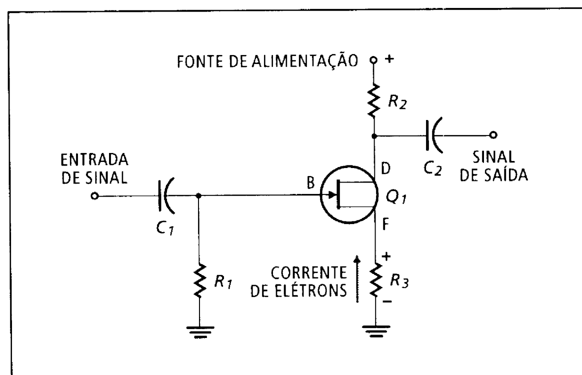


Fig. 7-14: Circuito de autopolarização para transistor JFET.

■ TEORIA

No Capítulo 3 você aprendeu como funciona um transistor JFET. A experiência de laboratório que você irá realizar agora, usa um transistor JFET canal N. A Figura 7-14 mostra o símbolo para o transistor JFET e o circuito de polarização mais freqüentemente usado.

A intensidade da corrente contínua que flui através do resistor da porta R_1 é tão pequena que você pode ignorá-la. Uma vez que não há corrente contínua através de R_1, não há tensão contínua sobre o mesmo. Isto faz com que a tensão da porta seja de 0 volt cc em relação à terra.

A corrente de elétrons flui da terra através do resistor da fonte R_3 e a fonte é positiva em relação à terra. A fonte é também positiva em relação à porta.

Uma outra maneira de dizer isto é que a porta é negativa em relação à fonte. Para um transistor JFET canal N, a porta deve ser negativa em relação à fonte, de modo que a polaridade da polarização é correta.

O resistor R_2 é o resistor de carga de saída para o circuito. A queda de tensão sobre R_2 faz com que a tensão no dreno seja menos positiva do que a tensão na fonte de alimentação.

O sinal de entrada chega até a porta através de C_1 e o sinal de saída é fornecido ao estágio seguinte através de C_2. Estes capacitores estão no caminho do sinal.

O método usado para polarizar o transistor JFET no circuito da Figura 7-14 é chamado *polarização de fonte*. É também chamado *polarização automática* ou *autopolarização*. Você também verá este método de polarização sendo usado para válvulas e transistores MOSFET tipo redução.

MONTAGEM DO TESTE

Realizar as ligações do circuito, conforme indicado na Figura 7-15. A Figura 7-15a mostra o diagrama esquemático e a Figura 7-15b mostra o diagrama chapeado. Este circuito é semelhante ao indicado na Figura 7-14.

Dois resistores de fonte são usados. Um (R_4) é variável e permite a você alterar a tensão de polarização. Quando o braço do resistor variável está no ponto a, o resistor R_4 é colocado em curto fora do circuito. Neste caso, a polarização é estabelecida apenas por R_3 e a tensão de polarização será mínima.

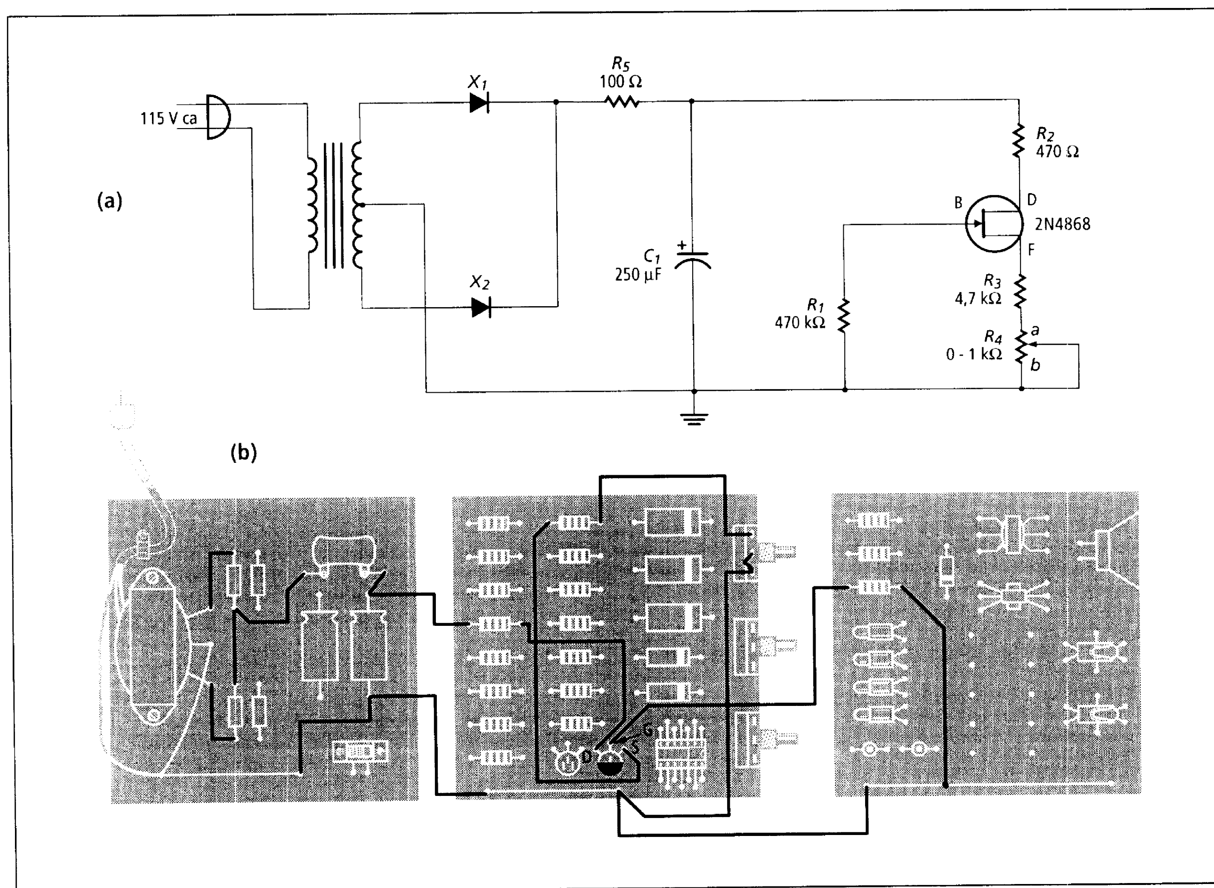
Pela lei de Ohm,

$E = IR$

Tensão de polarização =

corrente da fonte X resistência da fonte

Fig. 7-15: Montagem de laboratório: (a) diagrama esquemático; (b) diagrama chapeado.



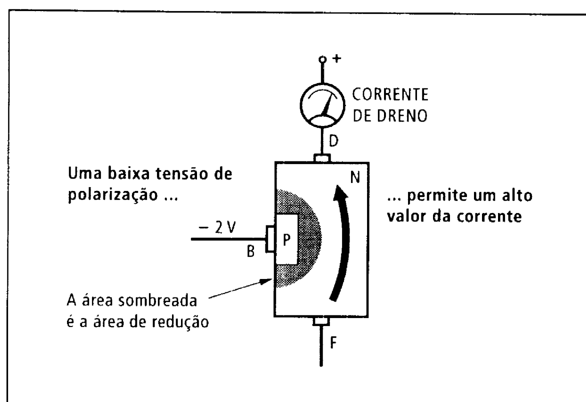


Fig. 7-16: Quando a polarização é mínima, a corrente é máxima.

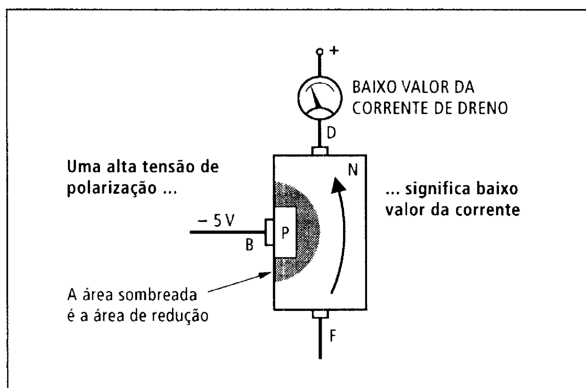
Quando você torna menor a resistência da fonte, a tensão de polarização torna-se também menor.

Quando o braço de R_4 está no ponto *b*, toda a resistência de R_4 está em série com R_3. Este é o maior valor da resistência de fonte que você pode obter com este circuito. É também o maior valor de polarização que você pode ter com o ajuste de R_4.

Quando a tensão de polarização está no mínimo (com o braço de R_4 no ponto *a*) a corrente através do transistor JFET deveria ser máxima. Lembre-se de que a polarização é uma tensão reversa sobre a junção PN porta-canal. Quanto menor a polarização, menor a região de redução e maior a corrente do canal. Isto está indicado na Figura 7-16.

Quando a tensão de polarização está no máximo (com o braço de R_4 no ponto *b*), a corrente do transistor JFET deveria ser mínima. A Figura 7-17 mostra o que está ocorrendo. A polarização maior torna a região de redução maior e reduz a corrente.

Fig. 7-17: Quando a polarização é máxima, a corrente é mínima.



■ PROCEDIMENTO

☐ *Etapa 1:* Montar o circuito indicado na Figura 7-15. Ajustar o resistor variável R_4 para o centro da escala.

☐ *Etapa 2:* Ligar um voltímetro diretamente entre a porta e a fonte, conforme indicado na Figura 7-18. Observe que o terminal negativo do voltímetro deve ir para a porta e o terminal positivo deve ir para a fonte.

☐ *Etapa 3:* Com R_4 ajustado no centro de sua escala, anotar o valor da tensão de polarização da fonte indicada pelo voltímetro.

V_B = ... **volts**

☐ *Etapa 4:* Ajustar R_4 para a mínima resistência. Anotar a leitura do voltímetro para este ajuste de R_4.

.... **volts**

A polarização aumentou ou diminuiu quando a resistência foi ajustada para o valor mínimo?

.... **Aumentou, Diminuiu**

Sua tensão de polarização deveria diminuir quando R_4 estivesse ajustado para o valor mínimo da resistência.

☐ *Etapa 5:* Ajustar o resistor R_4 para sua resistência máxima. Anotar a tensão de polarização conforme indicado pelo voltímetro.

V_B = ... **volts**

A tensão de polarização aumentou quando a resistência foi aumentada?

.... **Sim ou Não**

A tensão de polarização deveria aumentar quando você aumentasse a resistência da fonte.

☐ *Etapa 6:* Ajustar R_4 para o centro da escala. Ligar o voltímetro entre o dreno e a terra, conforme indicado na Figura 7-19 (V_D).

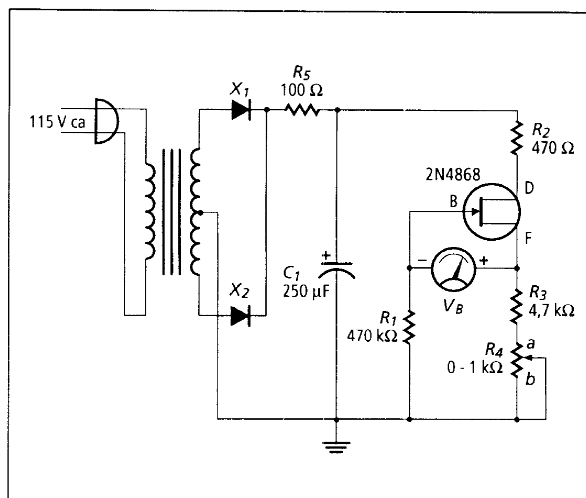


Fig. 7-18: Conexão do voltímetro para medição da tensão de polarização da porta.

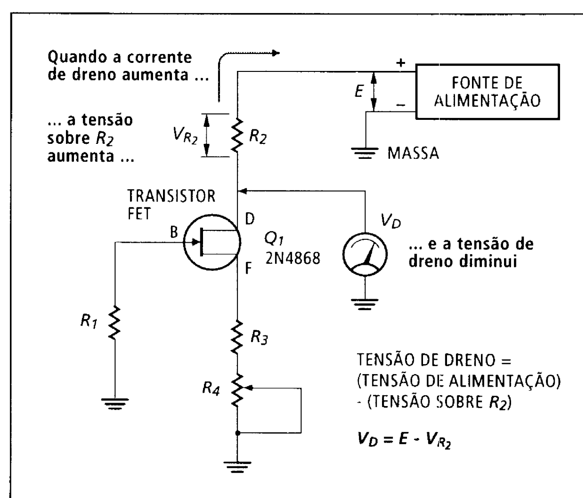


Fig. 7-19: Conexão do voltímetro para medição da tensão de dreno.

☐ *Etapa 7:* Anotar a tensão do dreno indicada pelo voltímetro.

V_D = ... **volts**

☐ *Etapa 8:* Ajustar R_4 para o valor mínimo da resistência (polarização mínima). Anotar a tensão de dreno indicada pelo voltímetro.

V_D = ... **volts**

Quando a polarização é mínima, a corrente através do canal e do resistor de carga do dreno R_2 é máxima. Isto torna a queda de tensão sobre R_2 (V_{R2}) máxima para este circuito. O voltímetro V_D indica a tensão de alimentação menos a queda de tensão sobre R_2. Assim, a leitura do voltímetro deve ser mínima quando a polarização é mínima. Esta ação está descrita na Figura 7-19.

Agora, um ponto muito importante: da ação descrita anteriormente, você pode ver que, quando a polarização porta-fonte torna-se efetivamente menos negativa, a tensão do dreno torna-se menos positiva.

☐ *Etapa 9:* Ajustar o resistor R_4 para o valor máximo da resistência (polarização máxima). Anotar a tensão de dreno medida pelo voltímetro.

V_D = ... **volts**

☐ *Etapa 10:* A tensão do dreno é mais positiva do que o valor que você anotou na Etapa 8?

.... **Sim ou Não**

A leitura da tensão deve ser mais positiva. Isto significa que a tensão do dreno torna-se mais positiva quando a tensão de polarização porta-fonte torna-se mais negativa (isso é verdade, já que estamos de fato variando a tensão sobre a fonte enquanto a porta está sempre no potencial contínuo da terra).

☐ *Etapa 11:* Subtrair o valor da tensão lido na Etapa 8 do valor lido na Etapa 9. A diferença entre as duas tensões é chamada V_D.

V_D = variação na tensão do dreno
= tensão máxima do dreno
− tensão mínima do dreno

V_D = ... **volts**

☐ *Etapa 12:* Subtrair o valor da tensão lido na Etapa 4 do valor lido na Etapa 5. A diferença entre as duas tensões é chamada V_B.

V_B = variação na tensão da porta
= tensão máxima da porta
− tensão mínima da porta

V_B = ... **volts**

☐ *Etapa 13:* O ganho de tensão do circuito é igual à variação da tensão do dreno V_D dividida pela variação na tensão da porta V_B que a produziu.

$$\text{Ganho de tensão} = \frac{V_D}{V_B} = \text{..........}$$

O ganho de tensão de um amplificador indica em quanto o sinal é amplificado. Quanto maior o ganho de tensão, maior será a amplificação.

■ CONCLUSÃO

Um transistor JFET pode ser polarizado por uma resistência no circuito da fonte. Conforme aumenta a resistência da fonte, aumenta a tensão de polarização porta-fonte. A tensão de dreno depende da magnitude da queda de tensão que ocorre sobre o resistor do dreno. Aumentando a corrente de dreno, aumenta a queda da tensão e torna o dreno menos positivo.

Quando o circuito da Figura 7-14 é usado como amplificador, o sinal de entrada pode ser fornecido à porta e o sinal de saída pode ser tirado do dreno. A magnitude da amplificação é também chamada de *ganho* do estágio amplificador.

E muito importante você saber que uma variação na tensão porta-fonte irá causar uma variação na tensão (e corrente) de dreno num circuito como aquele indicado na Figura 7-14.

AUTOTESTE COM RESPOSTAS

(As respostas com discussões encontram-se no final do capítulo / pág. 154.)

1. Para um transistor JFET canal P, a tensão contínua de polarização da porta deveria ser

(a) positiva em relação à tensão da fonte;

(b) negativa em relação à tensão da fonte.

2. Qual dos seguintes componentes é um dispositivo operado por corrente

(a) Um transistor MOSFET canal P tipo aumento;

(b) Um transistor JFET canal N;

(c) Uma válvula triodo;

(d) Um transistor bipolar.

3. A polarização por contato pode ser usada com

(a) transistores bipolares;

(b) transistores MOSFET tipo aumento;

(c) transistores MOSFET tipo redução;

(d) alguns tipos de válvulas.

4. Quais das seguintes proposições está errada?

(a) a grade de uma válvula deve ser negativa em relação ao cátodo;

(b) a base de um transistor PNP deve ser negativa em relação ao emissor;

(c) a porta de um transistor MOSFET canal N tipo aumento deve ser positiva em relação ao dreno;

(d) a porta de um transistor JFET canal N deve ser negativa em relação à fonte.

5. A bateria usada para obter a tensão de placa de uma válvula é chamada de bateria

(a) A;

(b) B;

(c) C;

(d) X.

6. A polarização automática não pode ser usada com transistores

(a) bipolares;

(b) JFET;

(c) MOSFET canal N tipo redução;

(d) MOSFET canal P tipo redução.

7. Qual dos seguintes componentes nunca deve ser operado sem algum tipo de polarização?

(a) um transistor NPN;

(b) um transistor PNP;

(c) uma válvula triodo;

(d) um transistor JFET.

8. Um resistor no circuito de fonte de um transistor JFET canal P irá tornar a fonte

(a) positiva em relação à massa;

(b) negativa em relação à massa.

9. Qual dos seguintes dispositivos pode ser operado como amplificador de sinais fracos mesmo na ausência de tensão de polarização?

(a) um transistor NPN;

(b) um transistor PNP;

(c) uma válvula triodo;

(d) um transistor JFET.

10. Um outro nome para corrente quiescente (sem sinal) é corrente

(a) excessiva;

(b) alternada;

(c) em vazio;

(d) zero.

RESPOSTAS PARA O AUTOTESTE

1. (a) - Na experiência, você trabalhou com um transistor JFET canal N. No circuito de laboratório, a porta era negativa em relação à fonte.

2. (d) - Os transistores NPN e PNP são dispositivos nos quais a corrente da base controla a corrente do coletor.

3. (d) - Válvulas com alto ganho de tensão são melhor indicadas para polarização por contato. Estas válvulas possuem um espaço grade-cátodo muito reduzido.

4. (c) - É importante para você aprender as polaridades das tensões necessárias para operar os vários dispositivos amplificadores.

5. (b) - Fontes de alimentação para placas; coletores e drenos são freqüentemente chamados de *fontes* B.

6. (a) - Resistores de emissor não são usados para polarização. São usados para estabilização da temperatura.

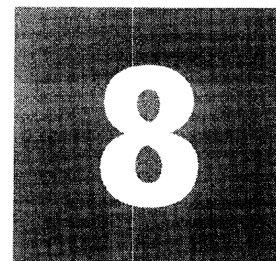
7. (c) - Uma válvula triodo pode ser danificada se for operada sem tensão de polarização de grade.

8. (b) - Para um transistor JFET canal P, a tensão da fonte é oposta à de um transistor JFET canal N. Na experiência de laboratório, você trabalhou com um transistor JFET canal N.

9. (d) - Isto pode ser feito somente com um transistor com efeito de campo.

10. (c).

O que são os amplificadores de tensão e de potência?



INTRODUÇÃO

Os amplificadores funcionam normalmente com dois tipos diferentes de tensões e ambos são importantes e necessários.

Uma das tensões é a tensão contínua de operação para garantir o funcionamento dos dispositivos amplificadores. Nos capítulos anteriores, você estudou estas tensões contínuas. Você conhece as polaridades das tensões necessárias para cada tipo de dispositivo amplificador. Você conhece, também, os métodos para obtenção de tensão contínua de polarização para a operação de cada tipo de dispositivo amplificador. Estes assuntos foram abordados nos capítulos anteriores.

Neste capítulo, você irá aprender sobre a segunda tensão presente num amplificador. É o *sinal de corrente alternada.*

Os técnicos têm diversas maneiras de se referir aos amplificadores. Se um amplificador for usado para transformar uma tensão fraca de um sinal em uma tensão forte de sinal, é chamado de *amplificador de tensão.* Se o amplificador mudar a tensão de um sinal numa corrente de um nível bastante elevado para operar um transdutor, é chamado de *amplificador de potência.*

Os nomes *classe A, classe B,* e *classe C* referem-se à maneira pela qual o dispositivo amplificador é polarizado. Como você irá aprender no decorrer deste capítulo, os amplificadores da classe A não são sempre melhores que os amplificadores da classe B.

Os termos *acoplamento RC, acoplamento por impedância, acoplamento por transformador* e *acoplamento direto* referem-se á maneira pela qual o sinal é passado de um estágio amplificador para o próximo. Os métodos de acoplamento dos amplificadores serão estudados num próximo capítulo.

Os amplificadores podem também ser identificados de acordo com o tipo de sinal amplificado. Desta forma, temos *amplificadores de áudio* e *amplificadores de rádio-freqüência* para amplificar sinais de áudio ou de rádio-freqüência.

Neste capítulo, você irá estudar as classes de amplificadores e os métodos de polarização a elas relacionados. Conforme mencionado anteriormente, você irá estudar os amplificadores em termos do sinal da corrente alternada. O que você irá aprender sobre classes de amplificadores é aplicável tanto em amplificadores de tensão, como em amplificadores de potência.

Um circuito amplificador típico de tensão e de potência será discutido neste capítulo. Um circuito com transistores bipolares é usado como exemplo. Como você pode ver, já adquiriu conhecimento suficiente para entender este amplificador de dois estágios.

Depois de estudar este capítulo, você poderá responder às seguintes perguntas:

- **Quais são as classes de amplificadores?**
- **Como a classe de operação é afetada pelos tipos de polarização?**
- **Como funcionam amplificadores típicos de tensão e de potência?**
- **Como podemos distinguir amplificadores de tensão de amplificadores de potência?**

INSTRUÇÃO

Quais são as classes de amplificadores?

Em sua forma mais simples, um amplificador recebe um sinal de entrada, aumenta sua amplitude (o amplifica) e fornece um sinal de saída para um outro estágio ou transdutor. Neste amplificador, é importante que o sinal de saída seja uma réplica exata do sinal de entrada no que diz respeito à forma da onda do sinal (a diferença óbvia entre a entrada e a saída é a amplitude).

Quando a forma da onda do sinal de saída tem a mesma forma que a onda do sinal de entrada, o amplificador é chamado de *amplificador de classe A*. Outras classes de amplificadores como os amplificadores das classes B, AB e C não só amplificam o sinal, como também alteram sua forma em alguma maneira importante. No momento, iremos definir os diversos tipos de amplificadores, de acordo com sua letra de classificação.

O que é um Amplificador de Classe A?

A Figura 8-1 mostra a relação entre o sinal de entrada e o sinal de saída para um amplificador de classe A. Abaixo do sinal de entrada pode ser observada uma linha pontilhada marcada com *interrupção.* Se o sinal atravessar esta linha, o amplificador é desligado durante curtos períodos de tempo. Para operação em classe A, não é permitido ao sinal atravessar esta linha. De fato, numa operação classe A, não é geralmente permitido ao sinal aproximar-se deste ponto de interrupção. Também é igualmente importante que a altura dos meio ciclos positivos não seja grande demais.

O sinal de saída é uma réplica do sinal de entrada, exceto por um detalhe importante: o sinal é invertido. Uma outra maneira de expressar isto é dizer que o sinal de saída está defasado em 180° em relação ao sinal de entrada. Quando o sinal de entrada for numa direção positiva, o sinal de saída estará numa direção negativa. Quando o sinal de entrada estiver numa direção negativa, o sinal de saída estará numa direção positiva. A forma das ondas de entrada e de saída são as mesmas, exceto por este fato. O fato de o sinal de saída estar invertido é freqüentemente chamado de *inversão de fase.* Mais adiante, neste capítulo, você irá ver por que isto ocorre.

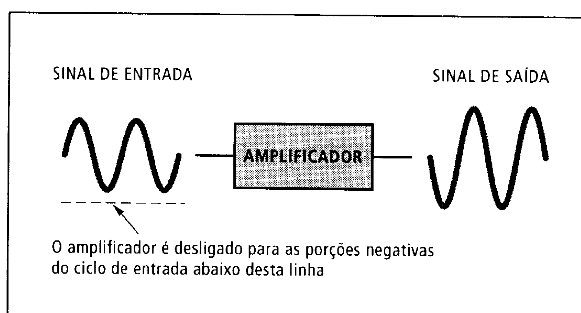


Fig. 8-1: Operação de um amplificador de classe A.

A inversão de fase não constitui um problema importante, na maioria dos amplificadores. Geralmente, um segundo amplificador irá inverter de novo a fase para sua posição original. Isto está ilustrado na Figura 8-2. Observe que, depois do primeiro estágio, o sinal é invertido em fase (de cabeça para baixo) e, no segundo estágio, o sinal é novamente invertido. A saída do segundo estágio está *em fase* com a entrada do amplificador. Quando dois sinais estão *em fase*, isto significa que os dois estão positivos ou negativos no mesmo instante.

Se o circuito for usado como amplificador de áudio, a inversão de fase não tem efeito algum sobre o sinal sonoro de saída. O ouvido não reage aos tipos de inversão de fase descritos aqui.

Uma outra característica importante de um amplificador de classe A é que existe sempre uma corrente de saída passando pelo dispositivo amplificador. Isto acontece, quer haja ou não um sinal sendo amplificado.

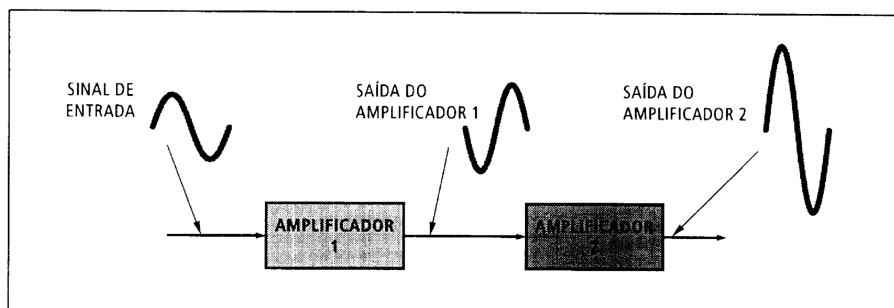


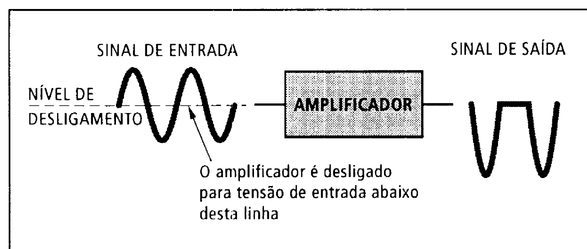
Fig. 8-2: O sinal de saída do amplificador nº 2 está em fase com o sinal de entrada.

Em resumo, um amplificador de classe A é um amplificador no qual o sinal de saída é semelhante ao sinal de entrada com duas diferenças principais: possui geralmente maior amplitude e sua fase pode ser invertida. Existe sempre um fluxo de corrente passando pelo dispositivo amplificador de classe A em operação.

RESUMO

1. Amplificadores de tensão são usados para aumentar a amplitude da tensão de um sinal.
2. Amplificadores de potência são usados para mudar a tensão de um sinal numa corrente bastante grande de sinal.
3. Amplificadores de potência são, freqüentemente, usados para fornecer sinais aos transdutores. Assim, um amplificador de potência de áudio fornece um sinal a um alto-falante.
4. Amplificadores podem ser identificados por letras, por exemplo, *classe A* e *classe B*. Estas letras identificam qual a polarização usada e a relação entre os sinais de entrada e de saída.
5. O método de acoplamento do sinal de um amplificador para um outro pode ser usado para classificar o amplificador. Exemplos disto são os *amplificadores com acoplamento direto* e *amplificadores acoplados por transformador*.
6. Nos amplificadores de classe A, o sinal de saída tem o mesmo formato que o sinal de entrada. Porém, os sinais podem estar defasados em 180°.
7. Num amplificador de classe A, existe sempre um fluxo de corrente através do dispositivo amplificador. Isto é certo, mesmo na ausência de sinal de entrada.
8. O sinal de entrada num amplificador de classe A faz aumentar ou diminuir a corrente através do dispositivo amplificador.

Fig. 8-3: Operação de um amplificador de classe B



O que é um Amplificador de Classe B?

Num amplificador de classe B existe um sinal de saída durante apenas meio ciclo do sinal de entrada. Isto está ilustrado na Figura 8-3. Observe que o sinal de entrada está acima da linha de interrupção durante um meio ciclo e abaixo da linha de interrupção, durante o meio ciclo seguinte. Durante o meio ciclo em que o sinal está abaixo da linha de interrupção, não há sinal de saída do amplificador.

O formato da onda de saída para o amplificador de classe B mostra que o mesmo é constituído por uma série de meio ciclos. Como anteriormente, os formatos da onda de saída são invertidos, isto é, são defasados em 180° em relação ao sinal de entrada. Também possuem maior amplitude que o sinal de entrada.

Você poderia perguntar se haveria alguma vantagem na operação de um amplificador de classe B, sobre a operação do amplificador de classe A da Figura 8-1. Uma vantagem muito importante é seu rendimento maior. Você pode pensar nos amplificadores como se fossem gente. Se você der para eles um pouco de tempo de folga, eles irão trabalhar de forma mais eficiente. O fato de um amplificador ser desligado durante metade do tempo de entrada significa que o amplificador possui um período de repouso. O rendimento de um amplificador de classe B é muito maior que o rendimento de um amplificador de classe A.

O rendimento de um amplificador é uma medida de quanta potência de sinal ele pode fornecer, em comparação com a potência contínua necessária para operar o amplificador.

Matematicamente,

Rendimento percentual =

$$= \frac{\text{potência do sinal de saída}}{\text{potência contínua de entrada}} \times 100$$

Alguns dispositivos amplificadores são muito mais eficientes do que outros. Porém, qualquer dispositivo amplificador (válvula, transistor bipolar ou transistor FET) será mais eficiente como amplificador de classe B, em comparação com o mesmo dispositivo operado como classe A.

Um amplificador de classe B pode ser usado nos casos onde a distorção do sinal de saída não constitui problema algum. A distorção é uma medida de quanto o sinal de saída difere do sinal de entrada.

Um sinal altamente distorcido é um sinal no qual a forma do sinal de saída não parece muito com o sinal de entrada. O sinal de saída de um amplificador de classe B é altamente distorcido.

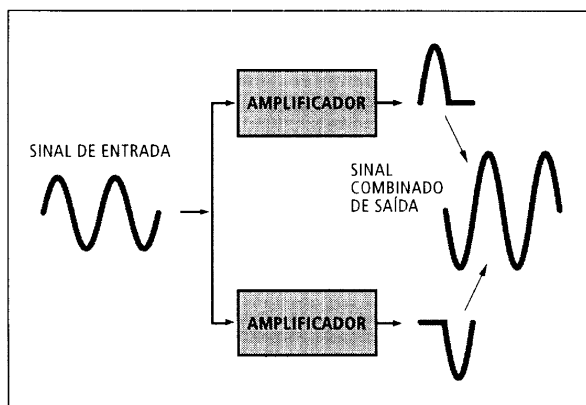


Fig. 8-4: Dois amplificadores de classe B são combinados para produzir com forte sinal de saída não-distorcido.

Dois amplificadores de classe B podem ser ligados de tal forma que um amplifica apenas o meio ciclo positivo do sinal e o outro amplifica apenas o meio ciclo negativo do sinal. Estes dois amplificadores eficientes produzem uma saída não-distorcida, conforme indicado na Figura 8-4. Os dois meio ciclos foram combinados num componente de circuito como por exemplo, um transformador, de modo que o sinal de saída contenha ambos os meio ciclos.

Existem vários tipos de circuitos usados para produzir as duas meia ondas indicadas na Figura 8-4. Iremos estudar estes circuitos num capítulo mais adiante.

O que é um Amplificador de Classe C?

Em um amplificador de classe C, a onda de saída representa muito menos que meio ciclo da onda de entrada. Este amplificador está representado na Figura 8-5. Observe que o ponto de interrupção no sinal de entrada é muito elevado, de modo que existe um sinal de saída somente durante as porções sombreadas do sinal de entrada. Aqui também, o sinal de saída é invertido em 180° e possui muito maior amplitude que a porção do sinal que está acima do ponto de interrupção.

Os amplificadores de classe C são muito mais eficientes que os amplificadores de classe A ou de classe B. Porém, apresentam a desvantagem de que o sinal de

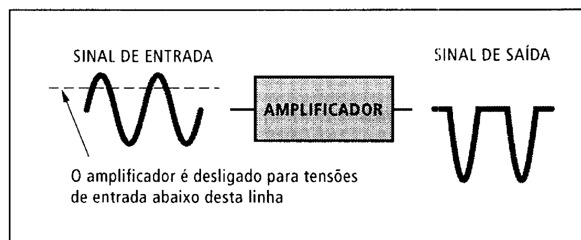


Fig. 8-5: Operação de um amplificador de classe C.

saída não se parece com o sinal de entrada. Um exemplo do uso de amplificadores de classe C é em circuitos oscilantes que estaremos estudando no próximo capítulo.

O que é um Amplificador de Classe AB?

Você aprendeu que um amplificador de classe A é um amplificador no qual ambos os meio ciclos do sinal estão presentes na saída. Um amplificador de classe B é um amplificador no qual o sinal de saída contém, apenas, meio ciclo do sinal.

Um amplificador de classe AB é um amplificador no qual o sinal de saída ocorre durante mais da metade do ciclo de entrada, porém durante menos de um ciclo de entrada completo. Em outras palavras, situa-se entre a classe A e a classe B.

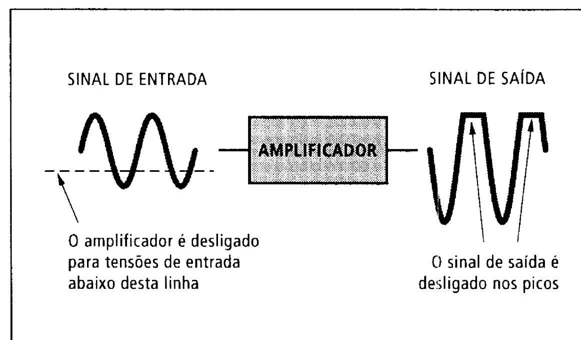


Fig. 8-6: Operação de amplificadores de classe AB.

A Figura 8-6 mostra um exemplo de operação da classe AB. Observe que o ponto de interrupção permite que a maior parte do sinal de entrada produza um sinal de saída, porém o amplificador é desligado durante uma pequena porção de um meio ciclo. Compare o formato da onda da Figura 8-6 com o formato da onda com amplificadores de classe A ou de classe B.

Existem dois tipos de amplificadores de classe AB usados apenas com válvulas a vácuo. Não se aplicam a outros tipos de dispositivos amplificadores. Se a válvula a vácuo for operada com amplificadores de classe AB, sem qualquer fluxo de corrente de grade, é chamada de *classe AB*. Se for permitido o fluxo de corrente de grade durante uma certa porção do ciclo de entrada, então, é chamada de *classe* AB_2. Lembre-se de que estes dois tipos de amplificadores de classe AB não são aplicáveis aos transistores bipolares ou transistores com efeito de campo.

RESUMO

1. A saída de um amplificador de classe B contém apenas meio ciclo do sinal de entrada.
2. O formato da onda de saída de um amplificador de classe B é distorcido. Porém, a operação em classe B é mais eficiente que a operação em classe A. Dois amplificadores de classe B devem ser usados juntos (Figura 8-4) para amplificar sinais de áudio.
3. O rendimento de um amplificador é uma medida de qual a potência de sinal em corrente alternada corresponde a uma determinada potência contínua do sinal de entrada.
4. Matematicamente,

   Rendimento percentual =

   $$= \frac{\text{potência do sinal de saída}}{\text{potência contínua do sinal de entrada}} \times 100$$
5. Os sinais de saída de dois amplificadores de classe B podem ser combinados para produzir um sinal de saída completo.
6. Os amplificadores de classe C são os mais eficientes, porém sua saída é a mais distorcida. Não podem ser usados para amplificar sinais de áudio.
7. Um amplificador de classe AB possui um sinal de saída com duração superior a um meio ciclo de entrada, porém menos de um ciclo completo.
8. Para circuitos com válvulas a vácuo, existem dois tipos de operação em classe AB. Com a operação em classe AB não há corrente de grade. Com a operação em classe AB_2, existe corrente de grade durante um curto intervalo de tempo, durante cada ciclo do sinal de entrada.

Como a Classe de Operação é Afetada pelos Tipos de Polarização?

Em algumas classes de operação, o dispositivo amplificador deve ser desligado durante certos intervalos de tempo e, em outras classes, não deve ser desligado. O sinal de entrada combina-se com a polarização para produzir o sinal de saída desejado. A classe de amplificação está diretamente relacionada com a quantidade de polarização usada. Para melhor entender isto, damos alguns exemplos a seguir.

A Figura 8-7 mostra um circuito de polarização por fuga de grade. Neste circuito, o capacitor C é carregado durante o meio ciclo positivo do sinal de entrada. A corrente de carga flui através do circuito de grade, conforme indicado pela seta sólida. Na realidade, esta carga ocorre, apenas, durante uma pequena porção da alternância positiva.

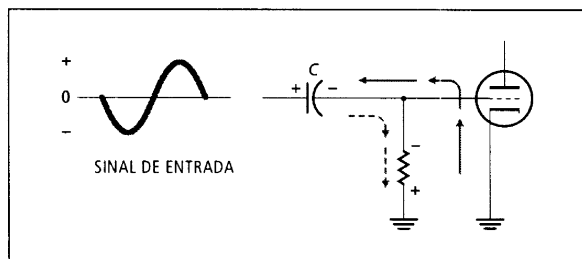


Fig. 8-7: A operação de um amplificador de classe B não pode ser obtida com este circuito de polarização.

Quando o sinal de entrada começa a tornar-se negativo, o capacitor descarrega através do resistor de fuga da grade. O caminho da corrente de descarga está indicado pela seta pontilhada da Figura 8-7. A descarga do capacitor, através do resistor de fuga da grade, produz uma tensão negativa na grade. A válvula pode ser desligada durante parte do sinal de entrada, quando for usada polarização por fuga de grade. A conclusão óbvia, portanto, é que você não pode usar polarização por fuga de grade para operação em classe A.

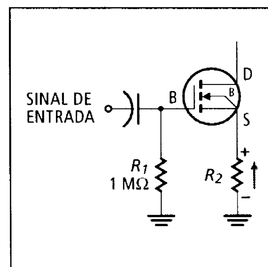


Fig. 8-8: Este tipo de polarização é bom para operação em classe A.

A Figura 8-8 mostra um circuito autopolarizado com transistor FET.

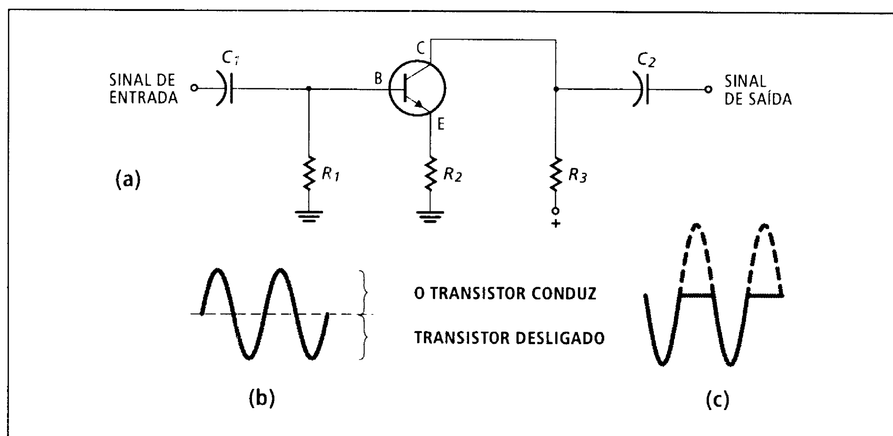
A tensão de polarização é obtida pela corrente que flui através do resistor de fonte R_2. Isto torna a fonte positiva em relação à terra, e a porta é aterrada através de R_1. Portanto, a porta é negativa com relação à fonte.

A magnitude da tensão de polarização da fonte depende da intensidade da corrente que flui através do dispositivo amplificador. Isto é um ponto muito importante. Para poder usar autopolarização com um dispositivo amplificador, você precisa ter corrente *fluindo continuamente através do dispositivo*. Portanto, a autopolarização não pode ser usada para desligar o amplificador. (Se for possível, usar um resistor de tamanho adequado para desligar o amplificador. Dessa forma, não haveria mais uma queda de tensão sobre o resistor e a polarização cairia para zero. Isto é verdade para válvulas a vácuo, como também para transistores com efeito de campo.)

A Figura 8-9 mostra um circuito amplificador usando um transistor bipolar NPN. Não existe polarização direta para o circuito de base. Observe na Figura 8-9a que a base está ligada à terra através do resistor R_1 e o emissor é aterrado através de R_2. Sem qualquer polarização direta, o transistor não pode conduzir. Isto significa que o transistor está normalmente desligado, sem qualquer polarização direta da base.

O sinal de entrada indicado na Figura 8-9b é aplicado no circuito através do capacitor C_1. A alternância positiva, que é a área sombreada, faz com que o transistor NPN tenha polarização direta na base. A corrente do coletor flui durante esta alternância positiva do sinal de entrada. O sinal de saída é aplicado sobre o resistor do coletor R_3, e então, é fornecido ao estágio seguinte através de C_2.

Fig. 8-9: Método para obtenção de operação em classe B: (a) circuito classe B; (b) sinal de entrada; (c) sinal de saída.



Tipo de Polarização	Usada para CLASSE A?	Usada para CLASSE B?	Usada para CLASSE C?
CAV (ou CAG)*	Sim	Não	Não
Bateria	Sim	Sim	Sim
Contato	Sim	Não	Não
Fuga de grade	Não	Não	Sim
Sem polarização (transistor FET)	Sim	Não	Não
Fonte de Alimentação	Sim	Sim	Sim
Autopolarização	Sim	Não	Não
Simples	Sim	Não	Não
Divisor de Tensão	Sim	Sim	Sim

* CAV = Controle Automático de Volume
CAG = Controle Automático de Ganho

Tabela 8-1: Classes de operação para cada tipo de polarização

Na alternância negativa do sinal de entrada representada pela área não-sombreada da Figura 8-9b, a base é tornada negativa em relação ao emissor. A junção emissor-base tem polarização reversa e o transistor é polarizado bem além do ponto de interrupção. Portanto, o transistor não pode conduzir durante as alternâncias negativas do sinal de entrada.

O formato da onda de saída para o amplificador com transistor está indicado na Figura 8-9c. Observe que a onda de saída flui durante cerca de meio ciclo do sinal de entrada, de modo que isto é uma forma de amplificação de classe B.

O circuito indicado na Figura 8-9a não pode ser usado para operação em classe A, porque o transistor é desligado durante as alternâncias negativas do sinal de entrada.

Um ponto importante deve ser acrescentado aqui. Durante as alternâncias negativas do sinal de entrada, a junção emissor-base sofre polarização reversa. Como você sabe, a junção emissor-base num transistor bipolar é como a junção num diodo. Porém, se você aplicar polarização reversa suficiente, ocorre uma "quebra" da função e a corrente

aumenta muito rapidamente. A tensão na qual ocorre esta "quebra" é chamada de *tensão zener* e pode destruir rapidamente uma junção PN. Os diodos zener são projetados para operar na região de tensão zener e não são destruídos quando se atinge a tensão zener. Porém, a maioria dos transistores não é projetada desta forma. Portanto, se o sinal de entrada for tão intenso que a tensão zener na base seja atingida, o transistor será destruído. Isto é um ponto importante a ser lembrado: *a amplitude do sinal de entrada no circuito da Figura 8-9 não deve ser tão elevado que possa causar a ocorrência da tensão zener.*

Fornecemos apenas três exemplos de como a magnitude da polarização altera a classe de amplificação. A Tabela 8-1 contém um resumo e todos os tipos de polarização e os relaciona com a classe de amplificação. Estude esta tabela cuidadosamente. É importante conhecer esta informação porque irá ajudá-lo a analisar um circuito. Um bom lugar para começar consiste em determinar como o amplificador é polarizado. Uma vez que você saiba o tipo de polarização usado, poderá julgar melhor a classe de operação.

RESUMO

1. O tipo de polarização usado com um dispositivo amplificador pode limitá-lo a certas classes de operação.
2. A autopolarização não pode ser usada para operação em classe C.
3. A polarização por fuga de grade não pode ser usada para operação em classe A.
4. Quando um transistor bipolar é operado sem polarização direta da base, está sendo operado em classe B.
5. A Tabela 8-1 mostra quais tipos de polarização podem ser usados para cada tipo de operação.

Como funcionam os Amplificadores Típicos de Tensão e de Potência?

A Figura 8-10 mostra um circuito amplificador de tensão de áudio Q_1 e um circuito amplificador de potência de áudio Q_2. A saída de Q_1 é ligada à entrada de Q_2. Quando dois amplificadores são ligados desta forma, diz-se que são *ligados em cascata.*

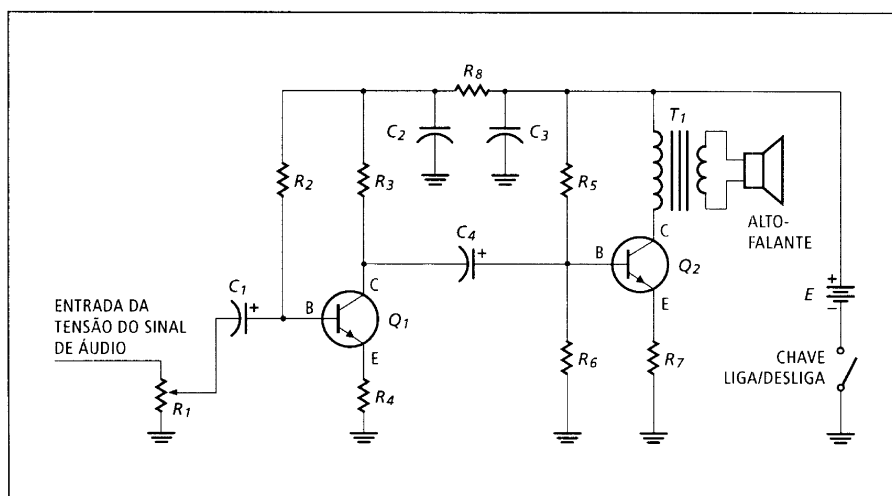


Fig. 8-10: Um amplificador de áudio de dois estágios.

Um amplificador de tensão aumenta a força do sinal. No circuito da Figura 8-10, uma fraca tensão do sinal de áudio é a entrada para Q_1. A saída de Q_1 é uma tensão de sinal de áudio com amplitude maior.

O sinal de entrada para o transistor Q_2 é um sinal de áudio com alta amplitude de tensão. A saída de Q_2 é uma *corrente* de sinal de áudio que flui através do primário do transformador de áudio T_1. O transistor Q_2 é um amplificador de potência porque transforma a tensão de sinal em corrente de sinal.

Uma única fonte de alimentação E é usada para ambos os estágios transistorizados. Ao analisar um circuito transistorizado, um bom começo consiste em acompanhar os caminhos da corrente contínua e certificar-se de que as polaridades das tensões estão corretas para cada dispositivo amplificador. Um técnico geralmente faz medições da tensão em vários pontos do circuito, acompanhando, ao mesmo tempo, os caminhos da corrente contínua.

Você poderá notar que o lado negativo de E está ligado à terra ou é comum através da chave LIGA/DESLIGA. Para acompanhar os caminhos da corrente contínua, você irá começar no ponto de massa (terra), seguir pelos vários componentes e voltar para o terminal positivo da fonte de tensão.

Quais são os caminhos de Corrente Contínua para Q_2?

Começando pelo ponto de massa, passar através de R_7, através de Q_2 (emissor coletor), e através do primário de T_1. Seguindo este caminho, você irá voltar para o terminal positivo da fonte de tensão. Portanto, Q_2 (junto com R_7 e o primário de T_1) oferece um caminho completo de corrente contínua.

O coletor de Q_2 é positivo em relação ao seu emissor. Esta é a polaridade adequada para um transistor NPN. O transistor será condutor se houver tensão de polarização positiva sobre a base deste transistor. Começando no ponto de massa e passando através de R_6 e R_5, você pode voltar de novo para o terminal de tensão positiva. Os resistores R_5 e R_6 formam uma rede divisória de tensão para a obtenção de tensão de polarização positiva para a base do transistor.

Os caminhos de corrente contínua para Q_2 foram agora identificados. As polaridades adequadas de tensão estão na base e no coletor.

Quais são os caminhos de Corrente Contínua para Q_1?

Começando no resistor R_4 e passando através de Q_1 (emissor-coletor) e R_3, você atinge um ponto positivo no circuito. Porém, você deve passar através de R_8 para chegar ao terminal positivo da fonte de tensão. A rede – que consiste em R_8, C_2 e C_3 – preenche duas finalidades. Em primeiro lugar, é um circuito de filtro para impedir que quaisquer variações da corrente alternada do transistor Q_2 atinjam o circuito de coletor de Q_1. Este circuito é, às vezes, chamado *filtro desacoplador.* A segunda finalidade deste circuito é reduzir a tensão contínua de E a um valor mais baixo para operar Q_1. Amplificadores de potência em muitos circuitos requerem para seus coletores uma tensão maior que aquela exigida para amplificadores de tensão. Este é o caso do circuito da Figura 8-10.

Para poder usar a mesma fonte de alimentação para todos os circuitos transistorizados, usa-se uma tensão maior para o amplificador de potência e a tensão é reduzida para um valor mais baixo para operar outros circuitos transistorizados. No circuito da Figura 8-10, a tensão é reduzida a um valor mais baixo através do resistor R_8.

O transistor Q_1 tem uma tensão positiva aplicada ao circuito do coletor, de modo que irá operar com a tensão de polarização de base adequada. Um simples circuito de polarização com o resistor R_2 é usado para proporcionar a tensão positiva de base para Q_1.

Qual é o caminho do Sinal de Corrente Alternada para o circuito?

Tendo acompanhado os caminhos de corrente contínua, observamos agora que ambos os transistores possuem as polaridades adequadas da tensão de polarização e da tensão de coletor. O próximo passo consiste em acompanhar o sinal de corrente alternada, através do circuito.

Este é um amplificador de áudio e a tensão do sinal de *entrada* é desenvolvida sobre o resistor variável R_1. Se isto for parte de um fonógrafo ou um sistema de rádio, R_1 seria chamado de *controle de volume.* Quanto mais perto da terra estiver o braço de R_1, menor será a amplitude da tensão do sinal e menor será o volume do som do alto-falante. O sinal de áudio é acoplado ao circuito da base de Q_1 através de um capacitor eletrolítico C_1. Usa-se aqui um capacitor eletrolítico pois ele possui o alto valor de capacitância necessário para circuitos transistorizados e irá deixar passar as baixas freqüências de áudio. Isto é prática comum em circuitos transistorizados.

A tensão do sinal de áudio de C_1 é desenvolvida sobre o resistor R_2. Isto produz uma tensão variável na base. A corrente do coletor será uma versão amplificada da corrente de áudio da base.

A tensão do sinal de áudio sobre o resistor da carga R_3 será maior que o sinal de entrada na base de Q_1. Portanto, ocorreu amplificação da tensão.

A saída de Q_1 é fornecida a um outro capacitor de acoplamento C_4. Este é também um capacitor eletrolítico. O sinal de áudio é fornecido à base de Q_2 e controla, portanto, a corrente do coletor.

A corrente do coletor que flui através do primário de T_1, provoca a formação de um campo magnético de extensão variável, em volta do primário do transformador. Como resultado disto, desenvolvem-se uma tensão sobre o secundário, um sinal de áudio e um fluxo de

corrente através do alto-falante. O alto-falante é um transdutor neste circuito, pois converte as variações da corrente de áudio em som.

Os resistores R_4 e R_7 servem de resistores para estabilização do emissor. Protegem o transistor da fuga térmica.

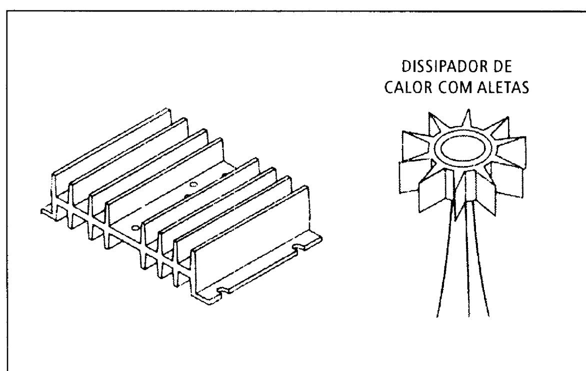
Como podemos distinguir Amplificadores de Tensão de Amplificadores de Potência

O fato da saída do transistor Q_2 fornecer seu sinal a um transdutor (através de um transformador) significa que o mesmo deve ser um amplificador de potência. Os amplificadores de potência são sempre precedidos por amplificadores de tensão. Portanto, Q_1 deve ser um amplificador de tensão.

Se você estivesse trabalhando com o circuito real, teria outras indicações para diferenciar os amplificadores de tensão dos amplificadores de potência. Os transistores amplificadores de potência são normalmente maiores que os transistores amplificadores de tensão. Os transistores de potência são geralmente ligados a algum tipo de dissipador de calor para permitir maior dissipação de calor durante a operação normal. A Figura 8-11 mostra dois exemplos de dissipadores de calor. A finalidade dos mesmos é conduzir o calor para longe do invólucro metálico do transistor. Isto significa que os transistores de potência irão operar em temperaturas mais baixas com o dissipador de calor.

Os amplificadores de potência operam em geral, em temperaturas mais elevadas que os amplificadores de tensão: isto vale também para os circuitos de válvulas.

Fig. 8-11: Exemplos de dissipadores de calor.



De fato, os amplificadores de potência são, geralmente os componentes mais quentes no circuito.
O outro tipo de válvula ou componente semicondutor que pode rivalizar em aquecimento são as fontes retificadoras.

Os amplificadores de tensão operam em temperaturas mais baixas porque não precisam produzir uma corrente de saída para operar transdutores. Uma vez que existe menor fluxo de corrente fluindo num amplificador de tensão, os resistores num circuito amplificador de tensão podem ter menor wattagem nominal. Ambos os amplificadores da Figura 8-11 são operados em classe A, porém, isto não poderia ser deduzido pelo arranjo do circuito. O detalhe que sugere que é uma operação em classe A é o fato de que se trata de um amplificador de áudio e, portanto, o sinal não deve ser distorcido. A operação em classe A produz um sinal de saída que é muito parecido com o sinal de entrada.

RESUMO

1. Um bom ponto de partida para analisar um circuito eletrônico consiste em acompanhar os caminhos de corrente contínua.
2. Cada componente amplificador precisa de duas tensões contínuas para sua operação. Deve haver uma tensão contínua para proporcionar um fluxo de corrente através do componente e deve haver uma tensão de polarização.
3. Capacitores eletrolíticos são usados para o acoplamento do sinal de um estágio para outro em circuitos bipolares.
4. Os amplificadores de potência são geralmente maiores que os amplificadores de tensão porque devem ter capacidade suficiente para deixar passar uma corrente maior.
5. Os amplificadores de potência operam geralmente em uma temperatura mais elevada que os amplificadores de tensão.
6. Um dissipador de calor é freqüentemente usado com um transistor amplificador de potência. Este dissipador ajuda a conduzir o calor para longe do transistor.
7. Transistores amplificadores de potência geralmente possuem tensão de coletor mais elevada que os transistores amplificadores de tensão.

PERGUNTAS DE REVISÃO PROGRAMADA

(As instruções para o uso desta seção de revisão programada são fornecidas no Capítulo 1 / pág. 8.)

Iremos rever aqui os conceitos importantes deste capítulo. Se você entendeu o material, poderá progredir facilmente por meio desta seção. Não pule este material porque apresentamos aqui algumas informações teóricas adicionais.

1 **A operação em classe C não pode ser obtida com:**

A **Autopolarização** (passe para o item 9).
B **Polarização por bateria** (passe para o item 17).

2 *A resposta correta para a pergunta no item 9 é B. Tornar a base mais positiva causa um aumento na corrente de base. Se a corrente de base de um transistor NPN aumentar, sua corrente de coletor também aumenta.* Aqui está a próxima pergunta:

A Figura 8-12 mostra os sinais de entrada e saída de um amplificador. O amplificador está sendo operado em:

A **Classe A** (passe para o item 15).
B **Classe C** (passe para o item 24).

3 *Se sua resposta para a pergunta no item 18 é A, está errada. A finalidade de um circuito acoplador é deixar passar o sinal de corrente alternada desejado.* Passe para o item 12.

4 *A resposta correta para a pergunta no item 16 é B. O formato da onda de saída do amplificador 1 na Figura 8-15 mostra que o amplificador está operando em classe B. Observe que a onda de saída só ocorre durante meio ciclo. A saída do amplificador 2 é menor que meio ciclo, e isto significa que se trata de um amplificador de tipo C.* Aqui está a próxima pergunta:

Qual dos seguintes componentes tem maior probabilidade de ser montado com um dissipador de calor?

A **Um transistor usado num circuito amplificador de tensão** (passe para o item 13).
B **Um transistor usado num circuito amplificador de potência** (passe para o item 22).

5 *Se sua resposta para a pergunta no item 26 é A, está errada. A operação em classe B é somente mais eficiente que a operação em classe A.* Passe para o item 16.

6 *A resposta correta para a pergunta no item 14 é A. Um transdutor freqüentemente (porém, não em todos os casos) requer maior corrente que aquela que pode ser fornecida por um amplificador de potência. Portanto, um amplificador de potência geralmente fornece seu sinal de saída a um transdutor.* Aqui está a próxima pergunta:

A vantagem em usar um capacitor eletrolítico para acoplar um sinal de um amplificador em outro é que a grande capacitância permite

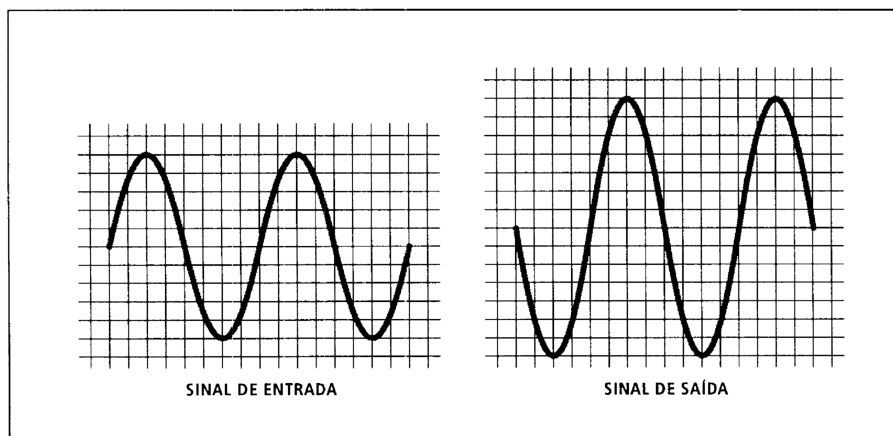


Fig. 8-12: Sinais de entrada e saída de um amplificador.

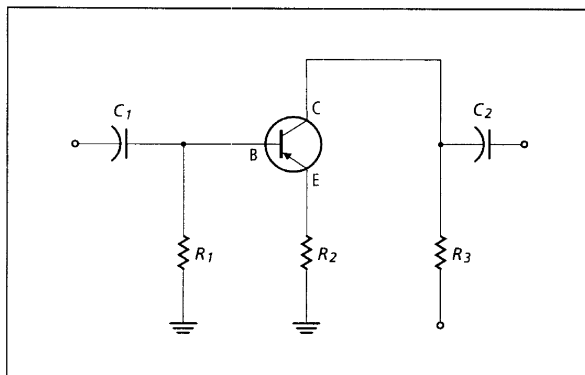


Fig. 8-13: Qual é a classe deste amplificador.

o acoplamento de tensões maiores sem muitas perdas. Uma desvantagem é que o circuito com transistor PNP na Figura 8-13 está sendo operado

A **Em classe A**
(passe para o item 27).

B **Em classe B**
(passe para o item 11).

7 *A resposta correta para a pergunta no item 15 é B. Se, uma corrente flui sempre através do dispositivo amplificador, significa que trata-se de um circuito amplificador de classe A. Isto vale tanto para amplificadores de tensão como para amplificadores de potência.*
Aqui está a próxima pergunta:

A **Os capacitores eletrolíticos provocam incêndios**
(passe para o item 23).

B **Os capacitores eletrolíticos são polarizados**
(passe para o item 14).

8 *Se sua resposta para a pergunta no item 9 é A, está errada. Quando você aumenta a tensão positiva sobre a base de um transistor NPN, as correntes de base e de coletor do transistor aumentam.* Passe para o item 2.

9 *A resposta correta para a pergunta no item 1 é A. Você obtém autopolarização num circuito de válvulas usando um resistor de cátodo.*

Num circuito com transistores FET, usa-se um resistor de fonte. Em ambos os casos, a polarização ocorre quando a corrente da válvula ou do transistor FET flui através do resistor. Porém, com polarização em classe C, a válvula ou o transistor FET são desligados, de modo que não há fluxo de corrente através do resistor no circuito do cátodo ou da fonte. Não haveria tensão de polarização se o dispositivo amplificador fosse desligado.

Somente os picos do sinal de entrada podem vencer a polarização de classe C e transformar o dispositivo amplificador em um condutor.
Aqui está a próxima pergunta:

Se você tornar a base de um transistor NPN mais positiva

A **A corrente de coletor irá diminuir**
(passe para o item 8).

B **A corrente de coletor irá aumentar**
(passe para o item 2).

10 *Se sua resposta para a pergunta no item 15 é A, está errada. Tanto um amplificador de tensão como um amplificador de potência podem ser operados em classe A.* Passe para o item 7.

11 *A resposta correta para a pergunta no item 6 é B. Não há corrente contínua de polarização da base fluindo no circuito na Figura 8-13. A base está ligada à terra através do resistor R_1 de modo que não existe fonte para a corrente contínua de polarização. As alternâncias negativas de sinal de entrada irão polarizar para frente o transistor PNP tornando o mesmo condutor. As alternâncias positivas irão mantê-lo em condição desligada.*
Aqui está a próxima pergunta:

No circuito da Figura 8-4 (pág.158), o circuito que inclui R_1, C_1 e C_2 atende a duas finalidades. Uma é abaixar a tensão da fonte de alimentação para Q_1. A segunda é:

A **Acoplar o sinal de Q_1 em Q_2**
(passe para o item 19).

B **Impedir o acoplamento indesejável de um estágio para outro**
(passe para o item 26).

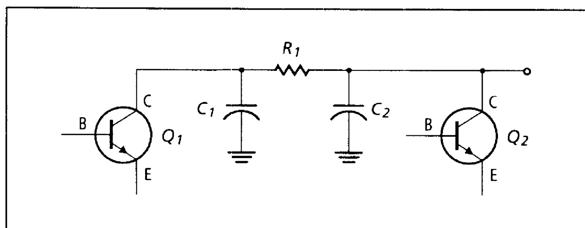


Fig. 8-14: Qual é a finalidade de R_1, C_1 e C_2?

12 *A resposta correta para a pergunta no item 18 é B. A tensão contínua na saída de um estágio não pode assumir o mesmo valor que a tensão contínua no próximo estágio. O capacitor impede o fluxo direto da corrente entre os dois valores de tensão contínua, porém deixa passar o sinal de corrente alternada.* Aqui está a próxima pergunta:

Explicar como é possível usar dois amplificadores de classe B para obter um sinal de saída não-distorcido.

....

....

....

....

....

(passe para o item 28).

13 *Se sua resposta para a pergunta no item 4 é A, está errada. Amplificadores de tensão aumentam a amplitude da tensão no sinal, porém não conduzem normalmente correntes de forte intensidade. É gerado normalmente pouco calor em amplificadores de tensão em comparação com a quantidade de calor gerada em amplificadores de potência. Dissipadores de calor não são usados com amplificadores de tensão.*
Passe para o item 22.

14 *A resposta correta para a pergunta no item 7 é B. Um capacitor irá deixar passar as altas freqüências mais facilmente do que as baixas freqüências. Porém, em regra geral, pode-se dizer que quanto maior for o capacitor, menor a freqüência que irá deixar passar. Os capacitores eletrolíticos possuem alta capacitância num pequeno volume, de modo que podem deixar passar freqüências mais baixas de áudio. Porém, são polarizados e devem ser ligados corretamente em relação às tensões positivas (+) e negativas (–).* Aqui está a próxima pergunta:

Uma maneira de localizar o estágio de potência num circuito consiste em:

A **Determinar qual amplificador tem sua saída ligada a um transdutor**
(passe para o item 6).
B **Determinar qual amplificador tem sua saída ligada a um transformador**
(passe para o item 20).

15 *A resposta correta para a pergunta no item 2 é A. Existe sempre um sinal de saída durante o sinal de entrada. Isto é operação em classe A.* Aqui está a próxima pergunta:

Qual das seguintes afirmações está correta?

A **Um amplificador de classe A deve ser um amplificador de tensão**
(passe para o item 10).
B **Um amplificador de classe A pode ser um amplificador de tensão ou um amplificador de potência**
(passe para o item 7).

16 *A resposta correta para a pergunta no item 26 é B. A operação em classe C é mais eficiente que a operação em classe A ou classe B. O dispositivo amplificador permanece desligado durante mais de uma alternância com a operação em classe C. Em regra geral, quanto maior o tempo de repouso, mais eficiente é a operação.* Aqui está a próxima pergunta:

Qual dos amplificadores na Figura 8-15 está operando em classe C?

A **Amplificador 1**
(passe para o item 25).
B **Amplificador 2**
(passe para o item 4).

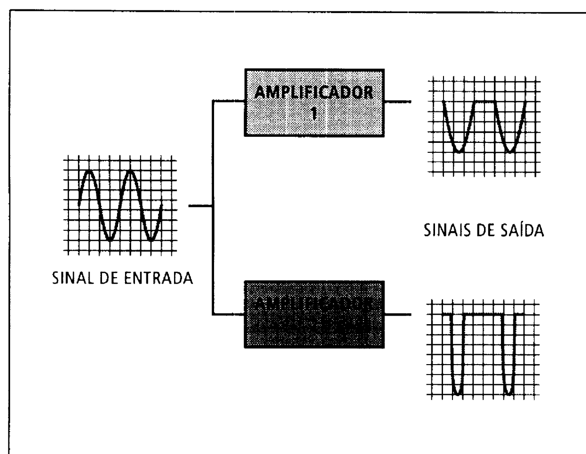


Fig. 8-15: Qual dos amplificadores está operando em classe C?

17 *Se sua resposta para a pergunta no item 1 é B, está errada. As baterias são disponíveis numa ampla escolha de tensões. É sempre possível obter uma bateria com tensão suficiente para desligar o fluxo de corrente numa válvula, em um transistor bipolar ou em um transistor FET.* Passe para o item 9.

18 *A resposta correta para a pergunta no item 22 é B. Esta é a definição da operação em classe A.* Aqui está a próxima pergunta:

Uma das finalidades de um capacitor acoplador em amplificadores com acoplamento RC é:

A **Permitir a passagem de uma tensão contínua e rejeitar um sinal de corrente alternada**
(passe para o item 3).

B **Permitir a passagem de um sinal de corrente alternada e rejeitar uma tensão contínua**
(passe para o item 12).

19 *Se sua resposta para a pergunta no item 11 é A, está errada. O circuito é usado para filtragem e impede a passagem de sinais. Não é usado para acoplamento.* Passe para o item 26.

20 *Se sua resposta para a pergunta no item 14 é B, está errada. O amplificador de potência para o circuito discutido neste capítulo possui sua saída ligada a um alto-falante através de um transformador. Porém, muitos amplificadores de tensão possuem também seus sinais de entrada ligados ao estágio seguinte, através de um transformador. Da mesma forma, muitos amplificadores de potência não fornecem seu sinal ao transdutor através de um transformador.* Passe para o item 6.

21 *Se sua resposta para a pergunta no item 22 é A, está errada. Um amplificador de classe B é mais eficiente que um amplificador de classe A.* Passe para o item 18.

22 *A resposta correta para a pergunta no item 4 é B. Os transistores de potência são geralmente construídos de tal forma que o calor intenso é conduzido para uma superfície metálica. Porém, a superfície metálica não é geralmente grande o suficiente para permitir a radiação de todo o calor para o ar. Um dissipador de calor simplesmente aumenta a área de superfície da qual o calor pode ser dissipado. Para o dissipador de calor poder funcionar corretamente, deve ser montado firmemente contra a superfície metálica do transistor. Muitas companhias usam graxa com silicone para melhorar a dissipação do calor.* Aqui está a próxima pergunta:

O termo amplificador de classe A significa:

A **Que o amplificador é mais eficiente que um amplificador de classe B**
(passe para o item 21).

B **Que existe sempre um fluxo de corrente através do dispositivo amplificador – mesmo na ausência de sinal para amplificar**
(passe para o item 18).

23 *Se sua resposta para a pergunta no item 7 é A, está errada. Não existe qualquer evidência de que os capacitores eletrolíticos causem incêndio.* Passe para o item 14.

24 *Se sua resposta para a pergunta no item 2 é B, está errada. Estude os formatos das ondas de entrada e saída da Figura 8-12. Existe sempre um sinal de saída quando existe um sinal de entrada.* Passe para o item 15.

25 *Se sua resposta para a pergunta no item 16 é A, está errada. O sinal de saída do amplificador 1 é um meio ciclo. Reveja os formatos de onda neste capítulo para as diversas classes de amplificação e, em seguida,* passe para o item 4.

26 *A resposta correta para a pergunta no item 11 é B. Este filtro desacoplador foi discutido neste capítulo. É usado entre Q_1 e Q_2 na Figura 8-10.* Aqui está a próxima pergunta:

Qual das seguintes proposições é mais eficiente?

[A] **Operação de amplificadores de classe B** (passe para o item 5).
[B] **Operação de amplificadores de classe C** (passe para o item 16).

27 *Se sua resposta para a pergunta no item 6 é A, está errada. Para operação em classe A, é preciso ter sempre um fluxo de corrente de coletor mesmo na ausência de sinal de entrada. O transistor no circuito da Figura 8-13 é desligado na ausência de sinal de entrada.*
Passe para o item 11.

28 *Um dos amplificadores de classe B amplifica as alternâncias positivas do sinal e o outro amplifica as alternâncias negativas do sinal.*

Você completou agora as perguntas de revisão programada. O próximo passo consiste em pôr estas idéias em prática, através de experiências de laboratório. Passe para a seção de experiências deste capítulo.

EXPERIÊNCIAS

(As experiências descritas nesta seção podem ser realizadas na placa de circuitos descrita no Anexo C ou numa montagem de laboratório similar.)

■ OBJETIVO

Nestas experiências você irá demonstrar que tensões alternadas e contínuas podem existir ao mesmo tempo num circuito. Também irá demonstrar que o ponto de massa para o sinal de corrente alternada e o ponto de massa para a tensão contínua podem estar em locais diferentes no circuito.

Você irá demonstrar também que um componente amplificador pode ser ligado de três formas diferentes num circuito.

PRIMEIRA PARTE

■ TEORIA

Existem três pontos importantes para sinais em todos os amplificadores. Estes são indicados na Figura 8-16.

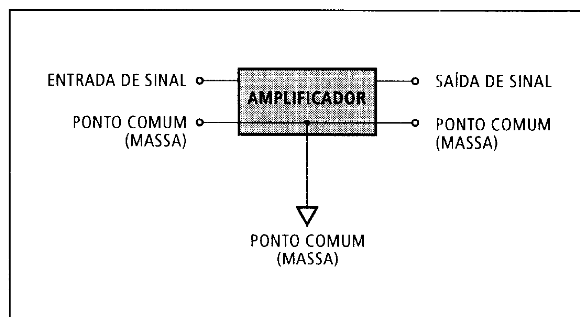


Fig. 8-16: Pontos importantes de sinal.

O ponto de *entrada do sinal* é o ponto onde o sinal entra no amplificador. O ponto de *saída do sinal* é o ponto onde o sinal deixa o amplificador. O ponto *comum* é o ponto onde a tensão do sinal é considerada 0 volt. O ponto comum é freqüentemente chamado de *terra,* porém este termo pode levar a interpretação errônea. O ponto comum pode ser considerado terra no que diz respeito ao sinal. Porém, para alguns circuitos, este ponto terra pode ter uma tensão contínua positiva ou negativa.

A Figura 8-17 mostra como é possível um ponto ser 0 volt no que diz respeito ao sinal e ter também uma

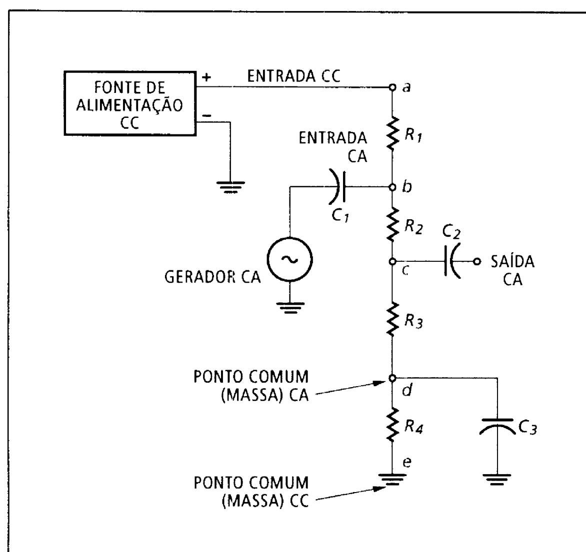


Fig. 8-17: Um circuito com ambas as tensões, contínua e alternada.

tensão contínua. Quatro resistores (R_1, R_2, R_3 e R_4) são ligados sobre uma fonte de tensão contínua. O sinal de entrada de corrente alternada age sobre os resistores R_2 e R_3. O sinal de saída de corrente alternada age apenas sobre R_3, uma vez que o ponto *d* está no potencial alternado da terra por causa da baixa impedância do capacitor C_3. O capacitor C_1 isola o gerador de corrente alternada da tensão contínua. Este capacitor deixa passar o sinal de corrente alternada para o ponto *b*, mas impede a tensão contínua no ponto *b* de chegar até o gerador.

O capacitor C_2 fornece o sinal ao terminal de saída de corrente alternada. Ao mesmo tempo, impede a tensão contínua no ponto *c* de chegar ao terminal de saída de corrente alternada.

O capacitor C_3 faz com que o ponto *d* seja aterrado ou comum, apenas para corrente alternada. Observe que este não é o ponto comum para corrente contínua. Medições da tensão alternada serão tomadas em relação ao ponto *d*; porém, medições de tensão contínua serão tomadas em relação ao ponto *e*.

O circuito da Figura 8-17 mostra por que você deve tratar separadamente as tensões contínuas e alternadas dos sinais. As duas tensões podem não ter o mesmo ponto comum. Da mesma forma, a entrada do sinal de corrente alternada pode não estar localizado no mesmo ponto que a entrada de corrente contínua no circuito. Você deve aprender a tratar a tensão (e a corrente) contínua, bem como a tensão (e a corrente) alternada como duas tensões (e correntes) separadas e distintas num circuito.

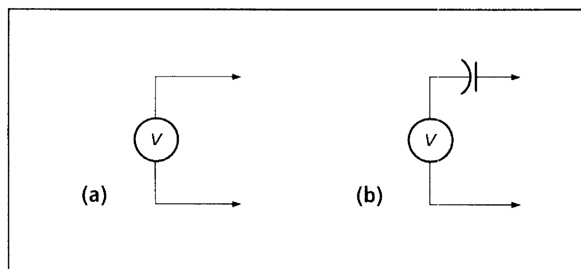


Fig. 8-18: Voltímetros para medir: (**a**) corrente alternada e corrente contínua; (**b**) somente corrente alternada.

A Figura 8-18 mostra como ligar um voltímetro de modo que o mesmo meça apenas as tensões alternadas.

O voltímetro na Figura 8-18a irá medir tanto as tensões alternadas como as tensões contínuas. Porém, a maioria dos aparelhos multiteste irá indicar uma tensão quando seu seletor de função estiver ajustado para tensão alternada e os terminais de teste ligados a uma tensão contínua. Isto significa que uma tensão contínua irá afetar a leitura de uma tensão alternada quando uma medição num circuito no qual existam ao mesmo tempo tensões contínuas e alternadas for feita.

Para impedir isto, um capacitor pode ser ligado em série com o voltímetro, conforme indicado na Figura 8-18b. Quando você fizer isto, deve usar um capacitor com valor de capacitância suficiente para não causar queda na tensão alternada. Lembre-se de que valores maiores de capacitância proporcionam reatância menor e, portanto, produzem menor queda de tensão.

■ MONTAGEM DO TESTE

O circuito para a primeira parte desta experiência está indicado na Figura 8-19. A Figura 8-19a mostra o diagrama esquemático e a Figura 8-19b mostra o diagrama chapeado. O diodo X_1 e o capacitor C_1 formam uma fonte de alimentação de corrente contínua. A tensão contínua no ponto *a* é cerca de 9 volts.

A derivação central do secundário está ligada ao ponto comum. O sinal de corrente alternada é obtido no secundário do transformador no ponto *y*. Os capacitores C_2 e C_3 são ligados em paralelo, de modo que os valores de capacitância somam-se. O sinal de corrente alternada é ligado do ponto *y* ao ponto *b*, através de C_2 e C_3.

O ponto *d* no divisor de tensão é o ponto comum de tensão alternada. Haverá uma tensão contínua no ponto *d*, porém não haverá qualquer tensão alternada neste ponto por causa da impedância muito baixa do capacitor C_5.

■ PROCEDIMENTO

☐ *Etapa 1:* Efetuar as ligações do circuito da Figura 8-19.

☐ *Etapa 2:* Usando o voltímetro de corrente contínua, medir as tensões contínuas nos seguintes pontos:

Todas as tensões contínuas devem ser medidas em relação ao ponto comum de tensão contínua *e*.



tensão contínua no ponto *a*
= .... **volts cc**

tensão contínua no ponto *b*
= .... **volts cc**

tensão contínua no ponto *c*
= .... **volts cc**

tensão contínua no ponto *d*
= .... **volts cc**

Fig. 8-19: Montagem do teste para a primeira parte da experiência: (**a**) diagrama esquemático; (**b**) diagrama chapeado.

☐ *Etapa 3:* Usando o voltímetro de corrente alternada indicado na Figura 8-19, medir a tensão entre os pontos *d* e *e*. Anotar o valor.

.... **volts ca**

O valor encontrado na Etapa 3 deve ser próximo de 0 volt. O capacitor C_5 age quase como um curto-circuito para um sinal de corrente alternada sobre R_4. O ponto *d* é comum para sinais de corrente alternada.

☐ *Etapa 4:* Ligar o terminal comum do voltímetro de corrente alternada no ponto *d*. Todas as medições de tensão alternada serão feitas com relação ao ponto *d*. Medir as tensões alternadas e anotar os valores obtidos nos seguintes pontos:

tensão alternada no ponto *a*
= .... **volts ca**

tensão alternada no ponto *b*
= .... **volts ca**

tensão alternada no ponto *c*
= .... **volts ca**

tensão alternada no ponto *y*
= .... **volts ca**

☐ *Etapa 5:* O valor obtido na medição da tensão alternada no ponto *a* deve ser quase 0 volt. Qual é o componente que faz com que esta tensão seja quase 0 volt?

....

Sua resposta deveria ser C_1. A alta capacitância de C_1 age quase como um curto-circuito para corrente alternada do ponto *a* até o ponto comum. O ponto comum *d* é alcançado através de C_1 e C_5.

CONCLUSÃO

Você mediu uma tensão alternada e uma tensão contínua nos pontos *b* e *c*. Isto significa que ambos os tipos de tensões podem existir num ponto ao mesmo tempo.

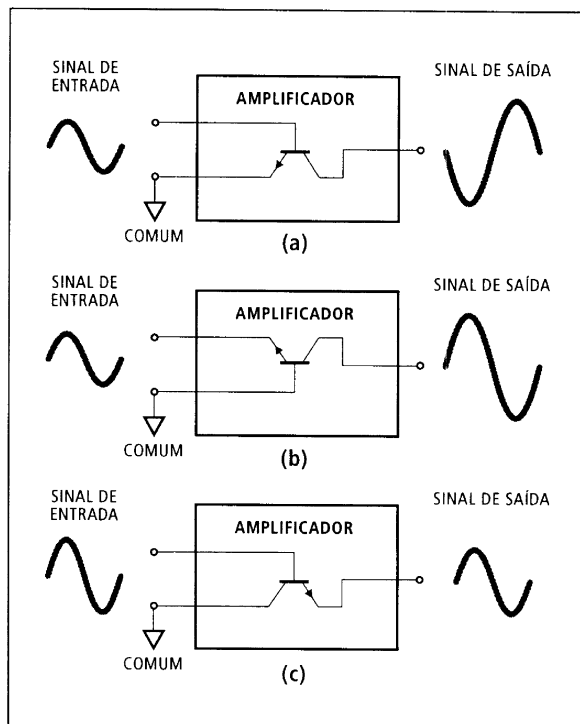
No ponto *d* você mediu uma tensão contínua, porém nenhuma tensão alternada. O ponto *d* é o ponto comum para o sinal de corrente alternada. Na prática, a tensão contínua no ponto comum de tensão alternada pode ter um valor positivo ou negativo.

SEGUNDA PARTE

TEORIA

Existem três maneiras possíveis para ligar dispositivos amplificadores. Estamos considerando três componentes amplificadores: válvulas, transistores bipolares e transistores FET. As três maneiras possíveis de ligar um amplificador estão indicadas na Figura 8-20. Na figura está indicado um transistor bipolar, porém você pode substitui-lo por uma válvula ou um transistor FET para cada tipo de circuito. Assim, um circuito base comum seria um circuito grade comum (ou grade aterrada) se uma válvula for usada . Ou seria um circuito porta comum (ou de porta aterrada) se fosse usado um transistor FET.

Fig. 8-20: Amplificadores: (**a**) emissor comum: (**b**) base comum; (**c**) coletor comum.



O circuito emissor comum da Figura 8-20a é o circuito com o qual você irá trabalhar mais freqüentemente. O sinal de entrada está dirigido para a base e o sinal de saída é tirado do coletor. Este tipo de circuito amplificador possui um alto ganho de tensão. O sinal de saída está defasado de 180° com o sinal de entrada.

No circuito base comum da Figura 8-20b, o sinal de entrada é dirigido para o emissor e o sinal de saída é medido no coletor. Existe um alto ganho de tensão e não há inversão de fase entre os sinais de entrada e de saída. Os amplificadores base comum são usados principalmente em sistemas eletrônicos de alta freqüência.

O circuito coletor comum da Figura 8-20c é também conhecido como *seguidor de emissor*. O sinal de entrada é dirigido para a base e o sinal de saída é medido no emissor. Não há ganho de tensão com este tipo de circuito que é utilizado para combinação de impedância. A impedância de entrada é elevada e a de saída é abaixada. (Uma explicação sobre combinação de impedância foi fornecida no Capítulo 4.) Não há inversão de fase entre os sinais de entrada e de saída em circuitos seguidores de emissor.

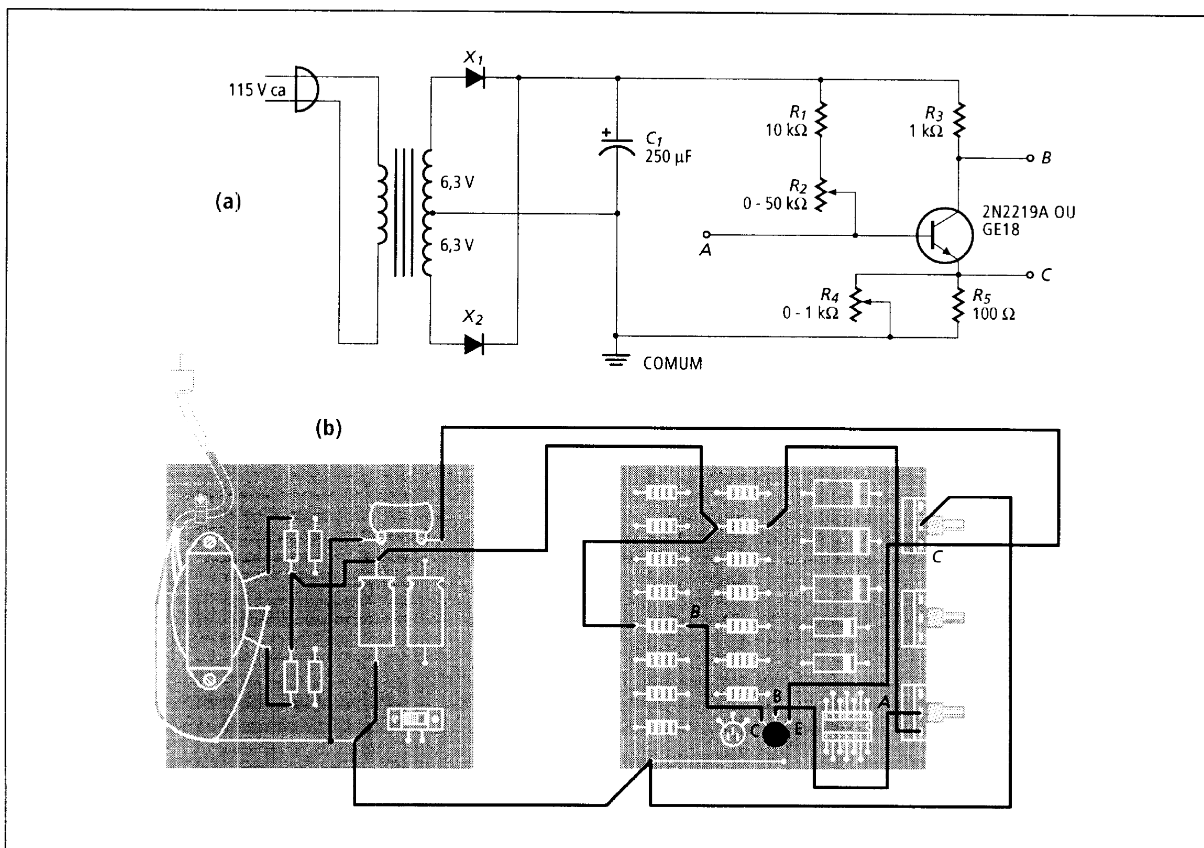
Os amplificadores da Figura 8-20 possuem componentes e tensões contínuas que não são indicados. Apenas os pontos do sinal de entrada e de saída são indicados assim como o ponto comum de tensão alternada.

Nesta experiência, você irá mostrar que um transistor bipolar pode ser usado como amplificador emissor comum, base comum, ou coletor comum. Você irá usar um amplificador de tensão, porém os mesmos tipos de circuitos podem também ser usados com amplificadores de potência.

■ MONTAGEM DO TESTE

A Figura 8-21 mostra o circuito para esta experiência. Um retificador de onda completa é usado como fonte de alimentação. Os retificadores são X_1 e X_2. O filtro é C_1.

Fig. 8-21: Montagem do teste para a experiência da Parte II: (a) diagrama esquemático; (b) diagrama chapeado.



Uma polarização simples é usada para o circuito transistorizado. Dois resistores (R_1 e R_2) são usados no circuito de polarização. Quando R_2 for ajustado para seu valor mínimo, a resistência do circuito de base consiste apenas em R_1.

Seria também possível ajustar R_2, de modo que a base do transistor B seja positiva. Isto iria produzir corrente de base excessiva e destruir o transistor. Portanto, o resistor R_1 protege o transistor limitando a corrente de base.

Iremos simular um sinal de entrada na base, que faça variar R_2. Isto irá alterar a tensão de base. Isto é o que um sinal de entrada normalmente faz – varia a tensão de base.

O sinal de entrada para o emissor, quando necessário, será produzido pela variação de R_4.

■ PROCEDIMENTO

☐ *Etapa 1:* Fazer as ligações do circuito indicado na Figura 8-21. A Figura 8-21a mostra o diagrama esquemático e a Figura 8-21b mostra o diagrama chapeado. Unir R_2 e R_4 no centro de sua faixa de ajuste.

☐ *Etapa 2:* Medir e anotar a tensão contínua no ponto *A*, com relação à massa.

V_A = ... **volts cc**

☐ *Etapa 3:* Ajustar R_2 para a posição de máxima resistência. A tensão no ponto A aumentou ou diminuiu?

....

Se você tiver realizado corretamente as ligações no circuito, a tensão no ponto *A* deve aumentar quando você girar o eixo de R_2 para a posição de valor máximo.

☐ *Etapa 4:* Voltar o eixo de R_2 para o centro da escala. Medir e anotar o valor da tensão de coletor no ponto *B*.

V_B = ... **volts cc**

☐ *Etapa 5:* Ajustar R_2 para a posição de máxima resistência. A tensão no ponto *B* aumentou ou diminuiu?

....

A tensão do coletor deveria diminuir. Isto é um ponto muito importante. Quando a tensão de base torna-se mais positiva, a tensão de coletor torna-se menos positiva. Em outras palavras, a variação na saída é o inverso da variação na entrada.

A razão da variação é fácil de entender. Quando a base se torna mais positiva, a corrente de base aumenta. Isto faz com que a corrente de coletor aumente. A tensão sobre R_3 aumenta quando a corrente de coletor aumenta.

Quando a queda de tensão sobre R_3 aumenta, o ponto *B* torna-se menos positivo.

☐ *Etapa 6:* Voltar o eixo de R_2 para o centro da escala. Medir e anotar o valor da tensão de emissor no ponto *C*.

V_C = ... **volts cc**

☐ *Etapa 7:* Girar o eixo de R_2 no sentido de máxima resistência para tornar a tensão de base do transistor mais positiva. A tensão de emissor, medida no ponto *C*, aumenta ou diminui?

....

A tensão do emissor torna-se mais positiva quando a base torna-se mais positiva. Não há inversão de fase neste circuito.

☐ *Etapa 8:* Voltar o eixo de R_2 para o centro da escala. Medir e anotar o valor da tensão de emissor no ponto *C*.

V_C = ... **volts cc**

☐ *Etapa 9:* Girar o eixo de R_4 no sentido de maior resistência. A tensão de emissor aumenta ou diminui?

....

Se você tiver realizado corretamente as ligações do circuito, a tensão de emissor tornar-se-á mais positiva quando o eixo de R_4 for girado para a posição de resistência máxima.

☐ *Etapa 10:* Voltar o eixo de R_4 para o centro da escala. Medir e anotar o valor da tensão de coletor no ponto *B*.

V_B = ... **volts cc**

☐ *Etapa 11:* Girar o eixo de R_4 até a posição máxima no sentido horário. A tensão de coletor aumenta ou diminui?

....

A tensão de coletor deveria aumentar.

■ CONCLUSÃO

Quando se altera a tensão de base, tanto a tensão de coletor como a tensão de emissor também são alteradas. A tensão de coletor torna-se menos positiva quando a base torna-se mais positiva. Isto significa que o sinal de saída no coletor está defasado em 180° em relação ao sinal de base. Quando o sinal de entrada é dirigido para a base e o sinal de saída é tirado do coletor, o amplificador é do tipo emissor comum.

Uma alteração na tensão de base altera a tensão de emissor. Porém, não há inversão de fase. Se o sinal de entrada é dirigido para a base e o sinal de saída é tirado do emissor, o amplificador é do tipo coletor comum.

Um sinal de entrada dirigido para o emissor, produz um sinal de saída no coletor. Não há inversão de fase. Quando o sinal de entrada é dirigido para o emissor e o sinal de saída é tirado do coletor, o amplificador é do tipo base comum.

AUTOTESTE COM RESPOSTAS

(As respostas com discussões encontram-se no final do capítulo / pág. 176.)

1. A Figura 8-22 mostra o sinal de entrada e o sinal de saída para um amplificador. Este amplificador é operado em classe

(a) A;
(b) B;
(c) AB;
(d) C.

2. Num circuito amplificador com válvulas, você não pode obter operação em classe C com polarização

(a) por fonte de alimentação;
(b) por bateria;
(c) por fuga de grade;
(d) de cátodo.

3. Os transistores bipolares em receptores são raramente (ou nunca) operados em classe

(a) A;
(b) B;
(c) C;
(d) AB.

4. Qual dos seguintes componentes é usado para manter transistores bipolares de potência operando em uma temperatura segura?

(a) um termopa;
(b) um dissipador de calor;
(c) um fio quente;
(d) um rastreador.

5. Qual dos seguintes dispositivos é usado para impedir que o sinal de um amplificador passe para um outro amplificador através de uma conexão comum de fonte de alimentação?

(a) um circuito lógico;

(b) um circuito curto;

(c) um circuito de limpeza;

(d) um circuito desacoplador.

6. Qual dos seguintes circuitos é chamado de amplificador apesar de não proporcionar qualquer ganho de tensão?

(a) um amplificador cátodo comum;

(b) um amplificador coletor comum;

(c) um amplificador base comum;

(d) um amplificador fonte comum.

7. A proposição seguinte é certa ou errada? É possível ter ao mesmo tempo uma tensão alternada e uma tensão contínua sobre um resistor?

(a) certo;

(b) errado.

8. A proposição seguinte é certa ou errada? É possível ter ao mesmo tempo uma corrente alternada e uma corrente contínua fluindo através de um resistor?

(a) certo;

(b) errado.

9. O sinal de entrada no emissor de um circuito amplificador de tensão com transistor NPN do tipo base comum está aumentando no sentido positivo. A tensão de coletor está aumentando no sentido

(a) positivo;

(b) negativo.

10. Qual dos seguintes amplificadores é mais eficiente?

(a) amplificador classe A;

(b) amplificador classe C.

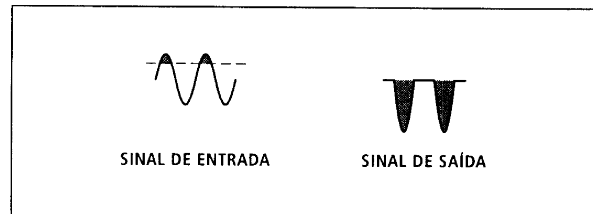


Fig. 8-22: Em que classe está operando este amplificador?

RESPOSTAS PARA O AUTOTESTE

1. (d) - O formato das ondas da Figura 8-22 (pág. 175) é o mesmo que o formato das ondas na Figura 8-5 (pág. 158).

2. (d) - Para obter operação em classe C, a válvula deve ser desligada. Você não pode desligar uma válvula com polarização de cátodo. Veja Tabela 8-1 (pág. 160).

3. (c) - Na maioria dos circuitos receptores, os amplificadores são operados em classe A, classe AB ou classe B.

4. (b) - A Figura 8-11 (pág. 163) mostra exemplos de dissipadores de calor.

5. (d) - A Figura 8-10 (pág. 161) mostra dois amplificadores ligados à mesma fonte de alimentação. Um filtro desacoplado é usado na linha da fonte de alimentação até o amplificador de tensão.

6. (b) - Um circuito coletor comum é também chamado de *seguidor de emissor*. Não proporciona ganho de tensão. Uma outra maneira de dizer isto é que o ganho de tensão

$$\frac{\text{tensão do sinal de saída}}{\text{tensão do sinal de entrada}}$$

é inferior a 1,0.

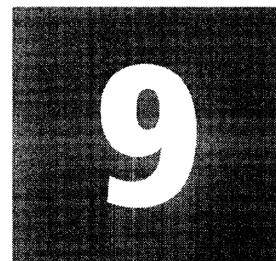
7. (a) - Isto foi demonstrado na experiência.

8. (a) - A tensão alternada e a tensão contínua sobre um resistor são obtidas com o fluxo de corrente alternada e de corrente contínua.

9. (a) - Isto foi demonstrado na experiência.

10. (b) - A vantagem dos amplificadores de classe A sobre os amplificadores de classe C é que o amplificador de classe A não distorce o formato da onda de sinal.

Como funcionam os osciladores?



INTRODUÇÃO

Um *oscilador* pode ser definido como um circuito que converte corrente contínua em corrente alternada. Esta é uma definição muito ampla e abrange todos os tipos de osciladores utilizados em circuitos eletrônicos. Osciladores são usados em todos os receptores e transmissores e em muitos tipos de equipamentos de teste.

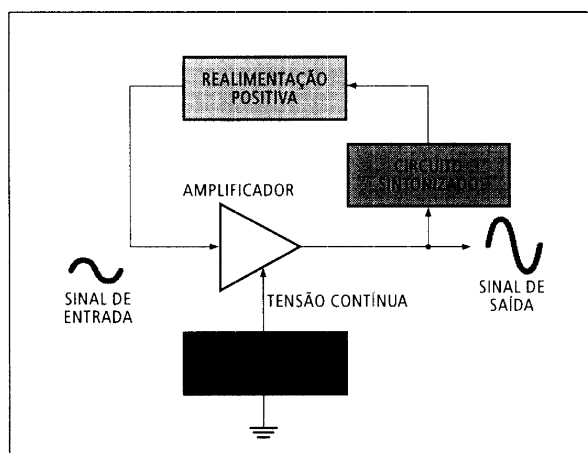


Fig. 9-1: Diagrama de bloco de um oscilador.

A Figura 9-1 mostra as seções básicas de um oscilador eletrônico que produz uma tensão senoidal. Uma fonte de alimentação é necessária para operar o amplificador, sendo uma das partes mais importantes de um circuito oscilador. O componente amplificador pode ser uma válvula ou um transistor. O oscilador geralmente tem alguma forma de circuito sintonizado para determinar a freqüência.

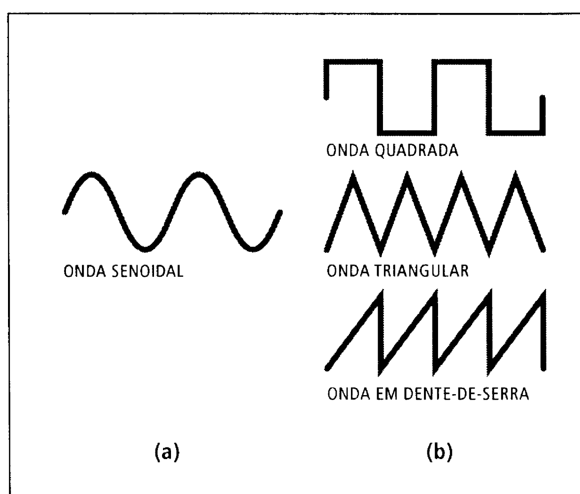
Existe um sinal de realimentação positiva utilizado em todos os circuitos osciladores. A realimentação positiva é também chamada de *realimentação regenerativa*. Com este tipo de realimentação, uma pequena parte do sinal do amplificador é reenviada para a entrada. Você irá entender isto melhor quando estudar os circuitos osciladores neste capítulo.

No diagrama de blocos básico da Figura 9-1, a entrada para o sistema é uma tensão contínua de uma fonte de alimentação e a saída do sistema é uma tensão alternada senoidal.

Todos os osciladores usados em eletrônica podem ser divididos em dois tipos diferentes: *senoidal* e *não-senoidal*. Estes nomes referem-se ao formato da onda de saída. A Figura 9-2 mostra alguns destes formatos de ondas. Se a onda de saída é senoidal, conforme indicado na Figura 9-2a, diz-se que o oscilador é senoidal. Se a saída é uma onda quadrada, uma onda em dente-de-serra, ou qualquer outro formato de onda do tipo indicado na Figura 9-2b, diz-se que o oscilador é não-senoidal. Você irá freqüentemente ver o termo *oscilador de relaxação* usado para referir-se aos tipos de osciladores que produzem ondas do tipo indicado na Figura 9-2b.

Além de serem identificados pelo tipo de onda, os osciladores podem também ser identificados pela freqüência de oscilação. Assim, você tem *osciladores de*

Fig. 9-2: Formatos de onda do oscilador: (**a**) senoidal; (**b**) não-senoidal.



áudio que produzem uma onda com freqüência de áudio. Os *osciladores de rádio-freqüência* produzem uma saída senoidal de rádio-freqüência.

Em alguns casos, o circuito oscilador é chamado pelo nome de seu inventor. Assim, você tem osciladores *Armstrong, Hartley* e *Colpitts.*

Neste capítulo, você irá estudar circuitos osciladores e aprender a identificar alguns dos tipos mais importantes de osciladores. Depois de estudar este capítulo, você poderá responder às seguintes perguntas:

- **Quais são as configurações dos amplificadores?**
- **O que é o efeito de volante?**
- **Alguns exemplos de circuitos osciladores de onda senoidal.**
- **Como funciona um oscilador de relaxação?**
- **Um exemplo de um circuito oscilador de relaxação.**

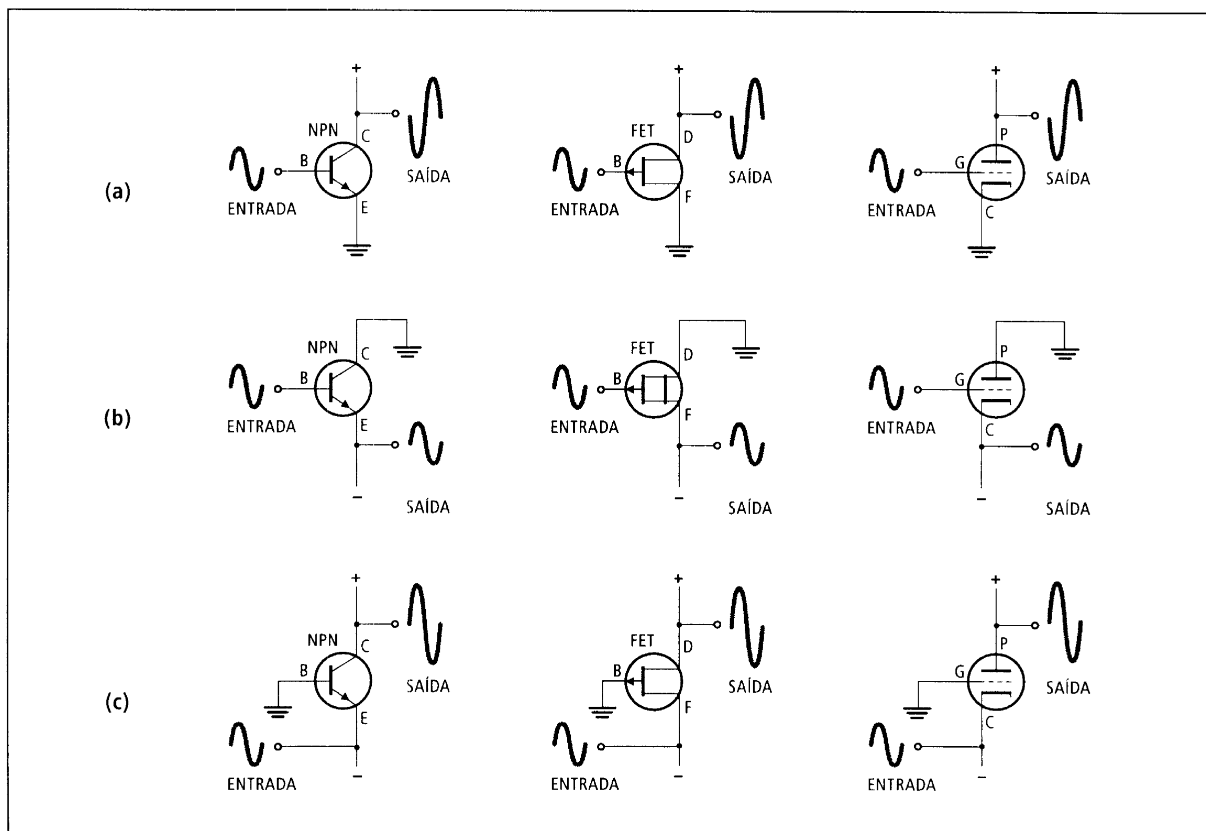
INSTRUÇÃO

Quais são as configurações dos Amplificadores?

Na seção de experiências do Capítulo 8, você aprendeu um princípio muito importante relacionado com circuitos amplificadores. O amplificador é um dispositivo de três terminais. O sinal de entrada é fornecido a um terminal, o sinal de saída é tirado de outro terminal e o terceiro terminal é comum a ambos. Este conceito é importante para entender como funciona um circuito oscilador.

As três formas básicas de amplificadores, chamadas de *configurações de amplificadores,* são indicadas na Figura 9-3. Na Figura 9-3a, o sinal de entrada é forne-

Fig. 9-3: Fluxo do sinal em amplificadores básicos: (**a**) convencionais; (**b**) tipo seguidor; (**c**) tipo massa-eletodo de controle.



cido ao eletrodo de controle: a base de um transistor bipolar, a porta de um transistor FET ou a grade de controle de uma válvula. O sinal de saída é retirado do terminal de saída de corrente contínua. Isto é, o coletor, o dreno ou a placa. O terminal de entrada de corrente contínua é comum a ambos os sinais de entrada e de saída. O terminal de entrada de corrente contínua é o emissor, fonte ou cátodo.

Amplificadores como aqueles indicados na Figura 9-3a são chamados de *convencionais.* Possuem um elevado *ganho de tensão.* Isto significa que a tensão do sinal de saída tem amplitude muito maior que a tensão de entrada. Além disso, o sinal de saída é defasado em 180° em relação ao sinal de entrada. Isto significa que, quando o sinal de entrada está se tornando positivo, o sinal de saída está se tornando negativo. Da mesma forma, quando o sinal de entrada está se tornando negativo, o sinal de saída está se tornando positivo.

A Figura 9-3b mostra um circuito massa-coletor. Aqui, o sinal de entrada está dirigido para a base, porta ou grade de controle. O sinal de saída é retirado do emissor, fonte ou cátodo. Este tipo de circuito amplificador é chamado de *seguidor.* Assim, o circuito com transistor bipolar é um seguidor de emissor, o circuito de transistor FET é um seguidor de fonte e o circuito de válvulas é um seguidor de cátodo. Não há ganho de tensão possível com um circuito seguidor. Em outras palavras, o sinal de saída possui sempre menos amplitude que o sinal de entrada. O sinal de saída está em fase com o sinal de entrada. Isto significa que ambos os sinais tornam-se positivos e negativos, ao mesmo tempo.

O circuito seguidor parece ser inútil como amplificador. Porém, possui um uso muito importante em eletrônica. É usado para *combinação de impedância.* O circuito possui alta impedância de entrada e baixa impedância de saída.

A Figura 9-3c mostra amplificadores com eletrodo de controle à terra. Com esse tipo de circuito, o sinal de entrada é fornecido ao emissor, fonte ou cátodo. O sinal de saída é retirado do coletor, dreno ou placa. Os sinais de entrada e de saída estão em fase e o circuito tem um alto ganho de tensão. Este tipo de circuito é freqüentemente usado como amplificador de alta freqüência.

Os amplificadores da Figura 9-3 são identificados por nomes que indicam qual é o eletrodo comum (massa) ou aterrado. O circuito com transistor bipolar da Figura 9-3a pode ser chamado de amplificador *massa-emissor* ou *emissor aterrado.* Como outro exemplo, o circuito de transistor bipolar da Figura 9-3b é também chamado de amplificador *massa-coletor.*

Na introdução deste capítulo, notamos que um circuito oscilador utiliza um amplificador com realimentação positiva. Isto significa que o sinal de realimentação da saída do amplificador deve ser devolvido para a entrada, em fase com o sinal de entrada. Para poder entender estes circuitos de realimentação é importante conhecer a fase do sinal de saída em relação ao sinal de entrada. Por isso a Figura 9-3 é tão importante.

RESUMO

1. Um oscilador é um circuito que altera a corrente contínua para alternada.
2. Um oscilador senoidal possui uma tensão de saída senoidal.
3. Um oscilador não-senoidal possui uma onda de saída que não é senoidal. Este tipo é freqüentemente chamado de *oscilador de relaxação.*
4. Um circuito oscilador senoidal possui uma fonte de alimentação de corrente contínua, um amplificador, um circuito sintonizado e um circuito de realimentação positiva.
5. A realimentação positiva é também chamada de *realimentação regenerativa.*
6. Os amplificadores são circuitos de três terminais no qual um dos eletrodos é a massa.
7. As configurações dos amplificadores são indicadas na Figura 9-3.
8. Os amplificadores são, às vezes, nomeados de modo a identificar o terminal de massa ou o terminal de terra.
9. Apenas o amplificador convencional (emissor, fonte ou cátodo aterrado) tem um sinal que é defasado em 180° com o sinal de entrada.
10. Circuitos seguidores não têm ganho de tensão. A equação para o ganho de tensão A_V de um amplificador é:

$$A_V = \frac{\text{tensão do sinal de saída}}{\text{tensão do sinal de entrada}}$$

O que é o Efeito de Volante?

Muitos osciladores de onda senoidal usam um circuito *LC* semelhante àquele indicado na Figura 9-4. Este circuito pode produzir uma corrente oscilante.

Na Figura 9-4a, um ímã permanente é deslocado através do indutor *L*, de modo que seu campo magnético se desloca através da bobina. De acordo com a *lei de Faraday*, toda vez que um campo magnético corta um condutor, uma tensão é induzida. Portanto, o movimento do ímã produz uma tensão sobre *L*. Esta tensão carrega o capacitor *C* e o circuito está agora pronto para começar sua oscilação. (É importante notar que o mesmo efeito poderia ter sido obtido ligando uma tensão diretamente sobre *C*, usando uma bateria.)

Na Figura 9-4b, o capacitor começou a descarregar. A corrente de descarga flui do pólo negativo para o pólo positivo no capacitor, conforme indicado pela seta. Esta corrente flui através da bobina *L* e estabelece um campo magnético em volta da mesma.

Uma vez que o capacitor está completamente descarregado, a corrente tende a parar. Neste momento, o campo magnético em volta de *L* começa a diminuir rapidamente e induz uma tensão que mantém a corrente fluindo. Isto está indicado na Figura 9-4c. Observe que a polaridade da tensão sobre a bobina é tal que mantém a corrente fluindo, na mesma direção em que estava anteriormente. O resultado é que o capacitor estará agora carregado na direção oposta em que estava na Figura 9-4a.

Quando o capacitor estiver totalmente carregado, a corrente na Figura 9-4c irá parar de fluir. O campo magnético em volta da bobina desapareceu completamente. Agora, o capacitor começa a descarregar. A corrente de descarga está indicada na Figura 9-4d. Esta corrente estabelece novamente um campo magnético em volta de *L*.

Uma vez que o capacitor está totalmente descarregado, a corrente tende a parar. Porém, o campo magnético em volta da bobina diminui rapidamente e mantém o fluxo de corrente para carregar o capacitor no sentido oposto. Isto está indicado na Figura 9-4e.

A cadeia de eventos acima é chamada de *efeito de volante*. O capacitor é carregado primeiramente num sentido e, em seguida, no sentido oposto. A tensão sobre o capacitor é alternada. Se você pudesse ver o formato desta onda, seria uma onda senoidal.

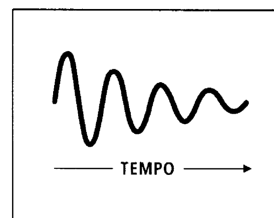
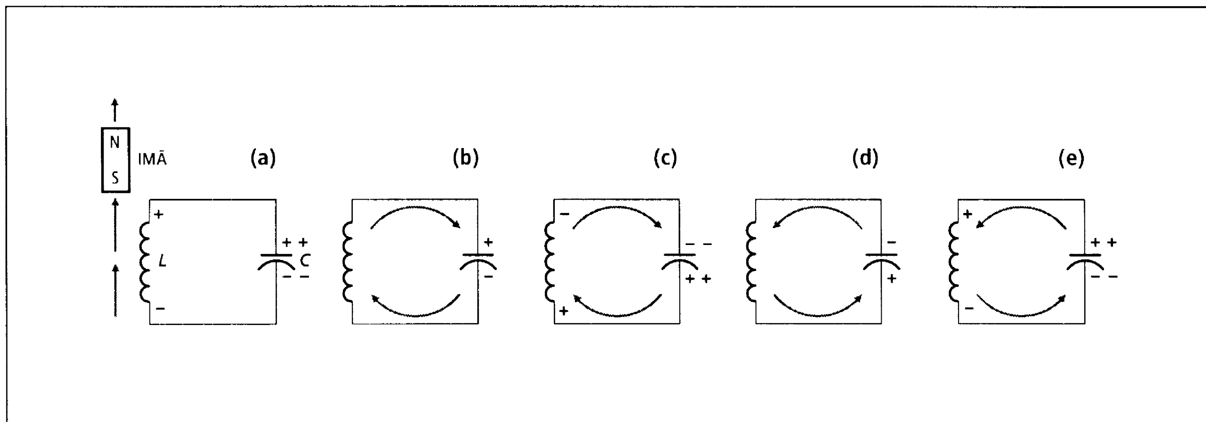


Fig. 9-5: Onda atenuada.

Se não houver perdas no capacitor e na bobina, esta tensão senoidal continuaria para sempre. Na realidade, existem perdas no circuito, devidas principalmente, à resistência do fio da bobina. Existe também alguma perda no dielétrico do capacitor. Para cada ciclo de operação, as perdas vão se acumulando.

O resultado final é um formato de onda muito parecido com aquele da Figura 9-5. É uma onda senoidal, exceto que cada crista diminui com o passar do tempo.

Fig. 9-4: O efeito de volante: (**a**) o deslocamento do ímã induz uma tensão que carrega o capacitor. *C* está indicado no estado carregado; (**b**) o capacitor descarrega. *C* está indicado como parcialmente descarregado; (**c**) a contra-tensão carrega o repositor. *C* está indicado no estado recarregado; (**d**) o capacitor descarrega. *C* está indicado no estado parcialmente descarregado; (**e**) a contratensão carrega o capacitor. *C* está indicado no estado carregado.



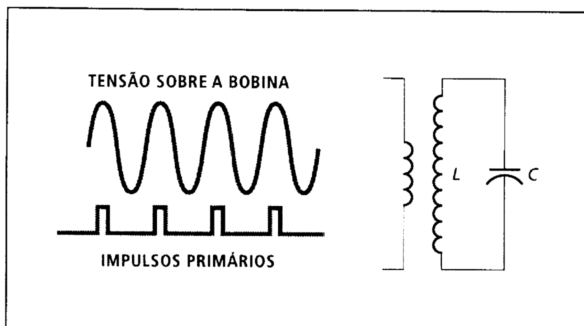


Fig. 9-6: Uma maneira de repor energia num circuito sintonizado.

O formato da onda é conhecido como *onda atenuada*. Quanto menores as perdas, por mais tempo irão continuar as oscilações.

Para manter a continuidade das oscilações, é apenas necessário fornecer uma pequena quantidade de energia ao sistema para substituir a energia perdida. A Figura 9-6 mostra como a energia pode ser fornecida ao sistema, usando o enrolamento de um transformador. Os impulsos para o primário deste transformador chegam no exato momento, de modo a somarem-se à energia fornecida pela bobina quando o campo cai para zero.

A Figura 9-7 mostra um circuito *oscilador ressonante*. O *circuito armazenador* (tank), formado por L_1 e C_2, é responsável pela freqüência de operação do circuito. Qualquer mudança na indutância de L_1 ou capacidade de C_2, produz mudanças na ressonância do circuito armazenador e portanto, na freqüência do oscilador.

Fig. 9-7: Exemplo de circuito oscilador ressonante.

R_2 tem a função de polarizar diretamente a base de Q_1. As perdas causadas pela resistência existente no circuito armazenador são repostas pela amplificação de Q_1. A forma de onda do sinal de saída, deve ter amplitude constante (sem amortecimento).

Para tornar isso possível, é necessário não deixar a intensidade da corrente de Q_1 diminuir em qualquer tempo. Os impulsos de entrada têm a função de disparar a corrente no transistor, exatamente nos momentos em que a mesma tende a cair.

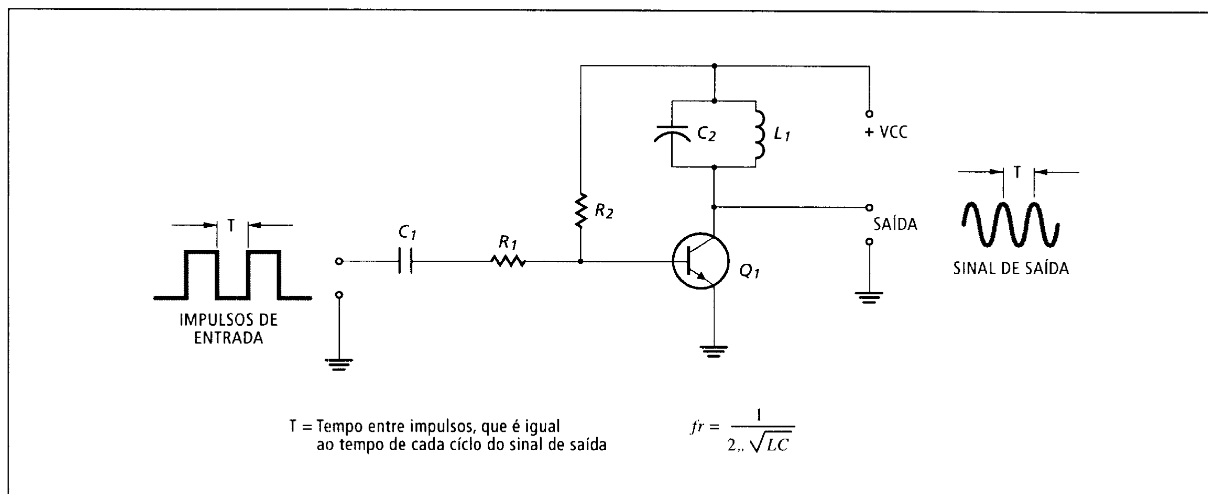
O que determina a Freqüência de Oscilação?

Para cada combinação de L e C no circuito da Figura 9-4 existe uma freqüência de oscilação chamada de *freqüência de ressonância*. A seguinte equação fornece o valor da freqüência:

$$f_r = \frac{1}{2 \sqrt{LC}}$$

em que, f_r = freqüência de oscilação (em hertz)
L = indutância da bobina, em henries
C = capacitância do capacitor, em farads

Nesta equação, você pode ver que a freqüência de ressonância pode ser mudada alterando-se L ou C. Se o circuito for usado num oscilador, a freqüência do oscilador pode ser sintonizada com uma indutância ou um capacitor variável.



RESUMO

1. O circuito *LC* que determina a freqüência num oscilador é freqüentemente chamado de *circuito sintonizado.*

2. Uma vez iniciada uma corrente oscilante no circuito sintonizado, esta corrente irá continuar a fluir num sentido e no outro durante algum tempo. Isto é chamado de *efeito de volante.*

3. As perdas num circuito sintonizado causam uma diminuição da amplitude da corrente a cada ciclo. O resultado é uma onda atenuada.

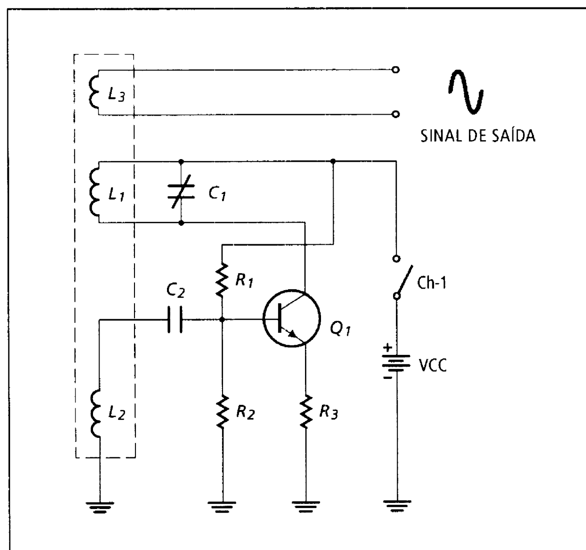
4. Num circuito oscilador, o amplificador libera energia para o circuito sintonizado periodicamente. Isto compensa as perdas de energia.

5. Num circuito oscilador, é a combinação *LC* que proporciona a tensão senoidal.

6. A freqüência de oscilação do circuito sintonizado de um oscilador é fornecida pela equação:

$$f_r = \frac{1}{2 \sqrt{LC}}$$

Fig. 9-8: Oscilador Armstrong transistorizado.



Alguns exemplos de Circuitos Osciladores de Onda Senoidal

Os osciladores de onda senoidal usados em circuitos eletrônicos terão a forma básica da Figura 9-1 (pág. 177). Ao analisar um circuito oscilador, você deve procurar cada uma das seções indicadas no diagrama de blocos.

Em regra geral, se o circuito oscilador possuir um capacitor variável, o oscilador é capaz de gerar sinais de rádio-freqüência (freqüência muito alta). Se o circuito sintonizado consiste em indutores e capacitores fixos, ou capacitores e resistores fixos, o oscilador é geralmente do tipo áudio-freqüência (ou baixas freqüências). Existem algumas exceções para estas regras. Por exemplo, um gerador de áudio-freqüência usado para testar circuitos de áudio irá sofrer um ajuste da freqüência através de um capacitor variável.

O que é um Oscilador Armstrong?

A Figura 9-8 mostra um circuito oscilador senoidal sintonizado, chamado *oscilador Armstrong*.

O transistor Q_1 amplifica a corrente realimentada pelo transformador de realimentação, formado por L_1 e L_2. A polarização direta, necessária para base-emissor de $Q1$, é feita por R_1 e R_2. O resistor R_3 tem a função de promover a estabilidade do circuito.

O funcionamento do circuito tem início quando a chave Ch-1 é fechada. A corrente no coletor de Q_1, carrega o capacitor C_1 e atravessando L_1, estabelece um campo magnético ao redor desta bobina. Esse campo é induzido em L_2. A tensão induzida tem polaridade positiva na base de Q_1.

Com base positiva, Q_1 aumenta a corrente através de L_1, que por sua vez, aumenta outra vez a tensão positiva na base do transistor. Essa é a realimentação positiva que permite ao circuito oscilar.

A seqüência de aumentos na corrente de base e coletor leva Q_1 à saturação. Na saturação, a corrente de Q_1 é estabilizada e não há mais indução através de L_1 e L_2. Agora, tem início a descarga de C_1 sobre L_1. Cria-se um campo magnético crescente nessa bobina. Esse campo é induzido novamente em L_2, com polaridade contrária da anterior, ou seja, agora a tensão é negativa na base de Q_1. A corrente de Q_1 diminue. Quando C_1 termina a descarga, o campo magnético em L_1 decresce. A contração

no campo magnético de L_1 leva C_1 a uma nova carga e induz nova tensão em L_2, esta vez positiva na base de Q_1. Novamente, Q_1 conduz e um novo ciclo se repete. O resultado do efeito volante entre L_1 - L_2 e da amplificação de Q_1, é a produção de um sinal senoidal induzido em L_3.

Qualquer mudança na capacidade de C_1 produz uma mudança na freqüência de oscilação do circuito. A função de C_2 é não permitir que a tensão contínua de polarização da bateria *VCC* seja curto-circuitada para a massa através de L_2.

Qual é a diferença entre Circuitos Alimentados em Série e Circuitos Alimentados em Paralelo?

A Figura 9-9 mostra duas seções do oscilador Armstrong que usam transistores. A diferença entre os circuitos está no fato de que na Figura 9-9a a corrente contínua do coletor flui através de parte do circuito sintonizado L_1,enquanto na Figura 9-9b a corrente contínua do coletor não flui através de parte alguma do circuito sintonizado.

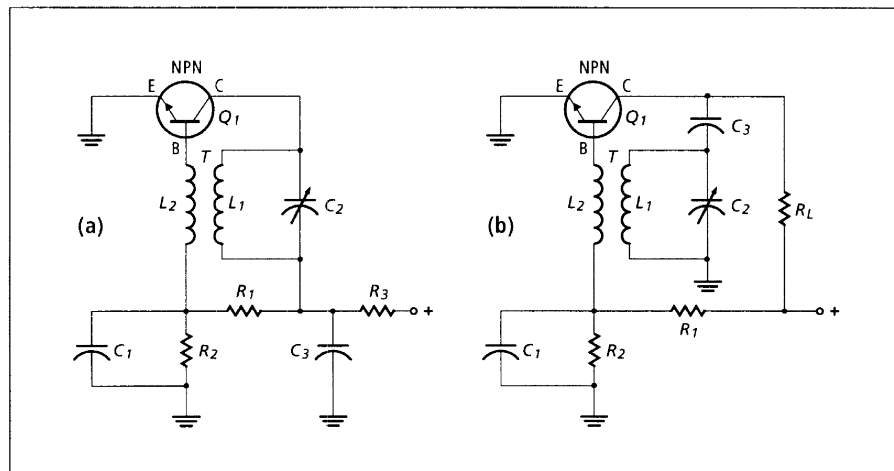


Fig. 9-9: Osciladores com transistor: (a) alimentação em série; (b) alimentação em paralelo.

A distinção entre estes dois osciladores é importante. O oscilador na Figura 9-9a é *alimentado em série*, enquanto o oscilador na Figura 9-9b é *alimentado em paralelo*. Lembre-se deste ponto importante: os osciladores alimentados em série têm sua corrente de amplificador fluindo através do circuito sintonizado, enquanto que, isto não ocorre com os osciladores alimentados em paralelo.

As várias partes dos osciladores são facilmente encontradas na Figura 9-9. Em ambos os circuitos, uma tensão positiva é fornecida ao circuito do coletor e uma tensão positiva de base é obtida com um divisor de tensão que consiste em R_1 e R_2. A tensão contínua de polarização é fornecida através do secundário do transformador L_2. Ambos os amplificadores irão operar porque possuem tensões positivas de coletor e tensões positivas da base.

A tensão positiva de coletor para o circuito da Figura 9-9a é fornecida através da bobina L_1 do circuito sintonizado. Uma vez que a corrente contínua de coletor deve fluir através de C_1, trata-se de um oscilador alimentado em série.

Na Figura 9-9b, a corrente contínua do coletor flui através do resistor de carga R_1. Nenhuma porção da corrente contínua de coletor pode fluir através da bobina L_1 porque a mesma é bloqueada pelo capacitor C_3. Trata-se de um oscilador alimentado em paralelo.

O sinal de realimentação para ambos os osciladores é obtido pelo transformador *T*. O circuito sintonizado consiste em L_1 e C_2, onde L_1 é o primário de ambos os transformadores de realimentação. O capacitor C_1 mantém a junção de R_1 e R_2 desacoplada da terra, isto é, um curto para sinais alternados. O sinal de saída em ambos os osciladores é uma onda senoidal pura de rádio-freqüência.

A maioria dos osciladores de onda senoidal pode ser projetada para alimentação em série ou alimentação em paralelo. Porém, não iremos mostrar ambos os casos para cada oscilador discutido.

O que é um Oscilador Hartley?

A Figura 9-10 mostra um outro tipo de oscilador de onda senoidal muito popular. Neste circuito, o amplificador Q_1 é polarizado com um divisor de tensão (R_1 e R_2) e a tensão de coletor é obtida através da metade da

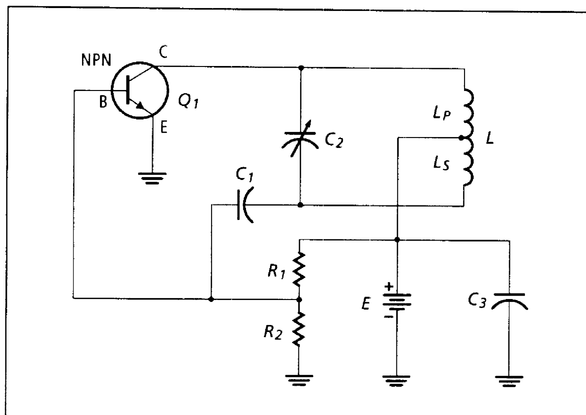


Fig. 9-10: Um oscilador Hartley.

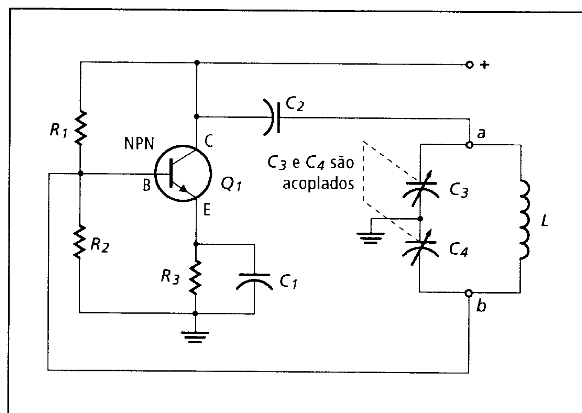


Fig. 9-11: Um oscilador Colpitts.

bobina L, marcada como L_p. O oscilador está pronto para operar porque possui as tensões contínuas apropriadas. A tensão de realimentação passa através do capacitor C_1 que fornece o sinal desenvolvido sobre L_S para a base do transistor. O circuito sintonizado consiste do capacitor C_2 sobre as duas metades do enrolamento de L.

A bobina L é um autotransformador. O primário do transformador é L_p e o secundário é L_s. Quando a corrente variável do coletor flui através de L_p, seu campo magnético corta as espiras de L_S. Uma tensão é induzida sobre L_s e retorna à base do transistor através do capacitor C_1. O capacitor C_1 serve também de capacitor da porta de corrente contínua, impedindo a tensão positiva da bateria de ser aplicada à base do transistor através de L_s. O capacitor C_3 sobre a bateria é usado para segurar a derivação central do autotransformador T no potencial de terra para sinais alternados.

O oscilador Hartley é semelhante em operação ao oscilador Armstrong. A diferença principal é que os enrolamentos do primário e do secundário do oscilador Hartley são partes de um autotransformador, em vez de serem dois enrolamentos separados.

O que é um Oscilador Colpitts?

A Figura 9-11 mostra um circuito oscilador Colpitts. A polarização para o oscilador é obtida com os divisores de tensão R_1 e R_2; R_3 é usado para estabilização do emissor. O capacitor C_1 sobre R_3 mantém o emissor num potencial contínuo constante. (Você irá estudar mais acerca dos capacitores sobre resistores de emissor mais adiante.)

Os capacitores C_3 e C_4 são aterrados no seu ponto de conexão. Isto forma, na realidade, uma derivação alternada do circuito sintonizado, mais ou menos semelhante à bobina em derivação do oscilador Hartley. O sinal de realimentação é a porção sobre C_4 que é fornecida para a base. O circuito sintonizado para o oscilador consiste em C_3 e C_4 sobre L.

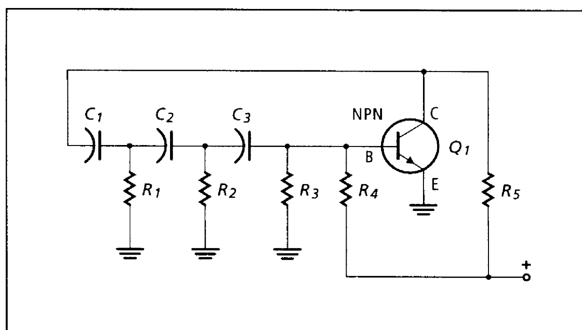
Mais uma vez, identificamos o estágio amplificador (circuito transistorizado), as tensões da fonte de alimentação para o estágio amplificador, o caminho de realimentação e o circuito sintonizado para o oscilador.

O que é um Oscilador RC com Deslocamento de Fase?

Todos os circuitos osciladores que você estudou até aqui usam um circuito LC sintonizado para ajustar a freqüência do oscilador. O circuito oscilador indicado na Figura 9-12 usa combinações de capacitor e resistor para ajustar a freqüência. Este tipo funciona somente em freqüências de áudio (freqüências baixas).

Em primeiro lugar, iremos ao estágio amplificador emissor-comum do oscilador. Os resistores R_3 e R_4 formam um divisor de tensão para a polarização da base

Fig. 9-12: Oscilador com deslocamento de fase.



enquanto a tensão do coletor é obtida através do resistor de carga R_5. O transistor é adequadamente polarizado e possui a tensão de coletor correta, de modo que irá amplificar.

O circuito de realimentação é obtido levando o sinal de saída sobre R_5 e ligando-o à base através de uma rede de defasagem.

Lembre-se de que a tensão de coletor num amplificador massa-emissor está defasada em 180° em relação à tensão da base. Se o coletor tiver realimentação direta para a base, iria cancelar o sinal de entrada. Num oscilador, *o sinal de realimentação deve estar em fase com o sinal da base.* Para realizar isto, a rede de realimentação é dividida em três seções: C_1R_1, C_2R_2 e C_3R_3. Cada seção proporciona uma defasagem de 60°, de modo que a defasagem total para as três seções é de 180°.

Em resumo, a tensão de coletor é defasada em 180° em relação à tensão de base (dado do amplificador). A rede de defasagem desloca a tensão de coletor em mais de 180°, proporcionando uma defasagem total de 360°. Isto é a mesma coisa que ter uma defasagem de 0° ou nenhuma defasagem. Desta forma, o sinal para a base está em fase com o sinal no coletor e o circuito irá oscilar.

O que é um Oscilador de Cristal?

No começo deste capítulo você aprendeu que a freqüência de ressonância de um circuito *LC* é fornecida pela equação

$$f_r = \frac{1}{2 \sqrt{LC}}$$

Quando o conjunto *LC* for usado num circuito oscilador como na Figura 9-9, a equação continua válida. Porém, torna-se mais difícil determinar os valores reais de *L* e de *C*.

Num circuito prático, existe uma certa capacitância entre os condutores. Ao mesmo tempo, existe uma capacitância de entrada para o componente amplificador. Os condutores possuem uma certa indutância especialmente em relação à freqüências muito elevadas. A capacitância dos condutores e da entrada, assim como a indutância dos condutores, é distribuída em todo o circuito. Você irá ouvir termos como: *capacitância distribuída* ou *indutância distribuída* e *capacitância dos condutores* ou *indutância dos condutores.* Referem-se à capacitância e à indutância que não estão na forma de componentes individuais. O termo *componentes sólidos* refere-se aos resistores, capacitores e indutores que você compra nas lojas de peças.

Mudanças na temperatura afetam a freqüência de ressonância de um oscilador. Isto porque os valores da capacitância e da indutância mudam com a temperatura. Isto acontece tanto para os componentes sólidos como para os componentes distribuídos. Por causa destas mudanças, a freqüência do sinal do oscilador *deriva* – isto é, altera-se lentamente sobre um certo período de tempo.

Em alguns casos, como, por exemplo, em transmissores, a freqüência de oscilação deve ser mantida dentro de limites muito estreitos. A freqüência não pode "derivar" após um longo período de tempo e não deve apresentar mudanças temporárias rápidas.

É possível projetar um oscilador *LC* para possuir freqüência constante, porém é mais fácil usar um cristal piezoelétrico para manter a freqüência em um valor exato.

Em algumas aplicações, o cristal é colocado num recipiente aquecido chamado *estufa do cristal.* Este recipiente mantém a temperatura do cristal constante para tornar a freqüência mais constante. Mesmo sem estufa de cristal a freqüência do oscilador de cristal é mais constante que aquela normalmente obtida com circuitos *LC*.

O que Faz o Cristal?

Os cristais piezoelétricos são feitos de quartzo, turmalina ou titanato de bário. O segredo para a operação dos cristais está em seu efeito piezoelétrico. Isto significa que estes materiais mudam de forma quando uma tensão é aplicada sobre os mesmos. Ademais, se a forma deles for alterada, produzem uma tensão entre suas superfícies.

O cristal de um material piezoelétrico é cortado numa medida muito exata, de modo que sua velocidade mecânica de vibração seja uma freqüência exata. A relação entre a vibração mecânica e a freqüência está ilustrada na Figura 9-13. Uma vareta é presa numa mesa, de modo que uma extremidade da vareta possa vibrar livremente. Se você bater na vareta, ela irá vibrar a uma freqüência muito baixa conforme indicado na Figura 9-13a. Em outras palavras, quando o comprimento livre da vareta for grande, a freqüência de vibração é baixa. Quando você apertar a vareta, conforme indicado na Figura 9-13b, a freqüência de vibração é muito maior.

Você pode concluir uma regra básica com base na ilustração da Figura 9-13. *Quanto menor for a massa, mais alta será a freqüência de vibração.* O cristal usado nos osciladores de cristal possui um tamanho muito menor que a vareta indicada na Figura 9-13, porém possui um período natural de vibração que é determinado por seu tamanho físico.

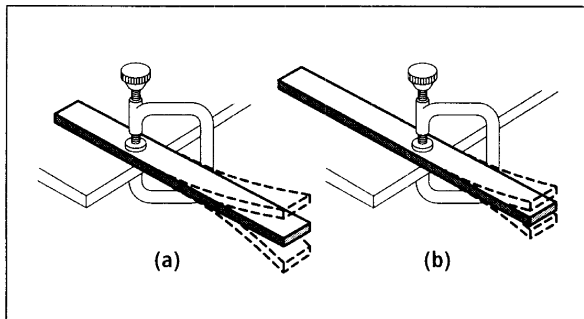


Fig. 9-13: Vareta vibratória: (**a**) baixa freqüência; (**b**) alta freqüência.

O símbolo para um cristal está indicado na Figura 9-14. A Figura 9-15 mostra um circuito que imita um cristal. (Um circuito que imita um outro cristal ou dispositivo é chamado *equivalente).* Se você tivesse resistores, capacitores e bobinas perfeitos, poderia construir um circuito como aquele indicado na Figura 9-15 e faria exatamente o mesmo que o cristal da Figura 9-14. Porém, os componentes não são perfeitos. Os capacitores apresentam vazamento e os indutores têm perdas de linhas de fluxo ou conexões incompletas. Os resistores não são simplesmente resistores porque possuem também capacitância e, em altas freqüências, indutância. O cristal possui as características do circuito da Figura 9-15, porém em componentes quase perfeitos.

O ponto importante para você lembrar é que o cristal vibra e produz um sinal elétrico a uma freqüência fixa muito constante.

Fig. 9-14: Símbolo para um cristal.

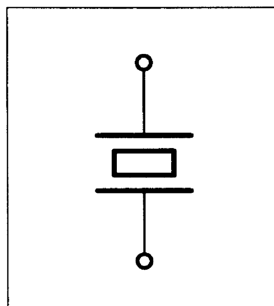
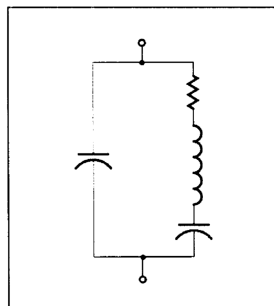


Fig. 9-15: Circuito que imita um cristal.



Um exemplo de circuito com Oscilador de Cristal

A Figura 9-16 mostra como o cristal pode ser usado num circuito oscilador de Colpitts. (Compare com a Figura 9-11.) Mais uma vez, iremos identificar os componentes do oscilador.

O amplificador é Q_1. A polarização para a base é obtida com o divisor de tensão R_1 e R_2. R_3 é o resistor de estabilização do emissor. O capacitor C_2 desacopla o emissor para a terra.

O caminho de realimentação passa pelo capacitor de acoplamento C_1 e pelo circuito de cristal e volta para a base do amplificador. A tensão de realimentação é a tensão sobre C_4. O cristal no circuito vibra a uma freqüência constante e produz uma tensão oscilante senoidal semelhante àquela de um circuito sintonizado *LC*.

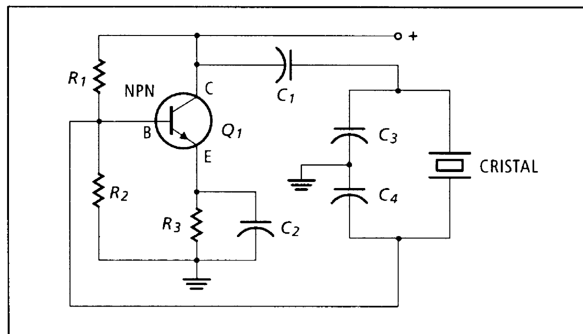


Fig. 9-16: Circuito de um oscilador de cristal

Como funciona um Oscilador de Relaxação?

Você estudou osciladores de onda senoidal e aprendeu que a maioria deles possui circuitos *LC* ou cristais. Todos estes osciladores possuem um amplificador que recoloca energia no circuito oscilante ou no cristal.

Um *oscilador de relaxação* depende da carga e descarga de tensão sobre o capacitor ou o acúmulo e diminuição da corrente num indutor. O princípio de operação de um oscilador de relaxação que usa um capacitor está indicado na Figura 9-17.

A Figura 9-17a mostra as seções básicas do oscilador de relaxação. Uma fonte contínua de alimentação *E* é necessária para carregar o capacitor *C*. O circuito de descarga faz o capacitor descarregar-se periodicamente.

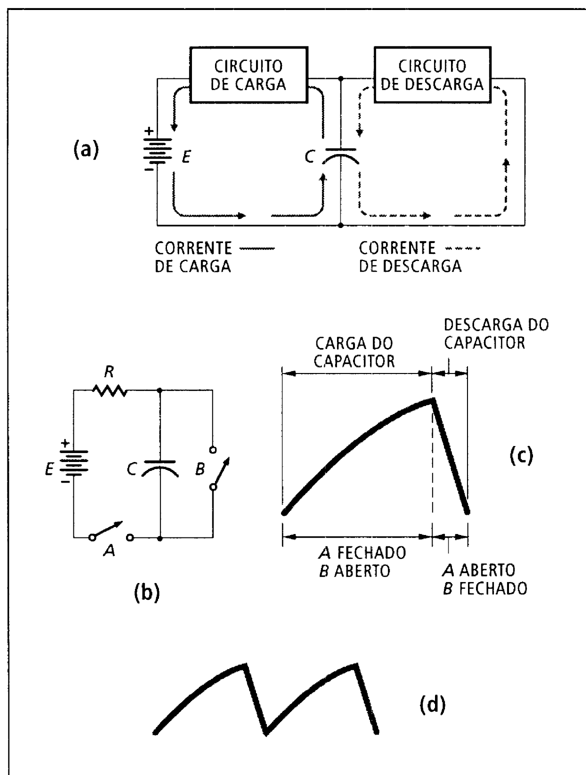
A Figura 9-17b mostra um oscilador de relaxação que utiliza interruptores mecânicos para os circuitos de carga e descarga. Quando o interruptor *A* está fechado e

o interruptor *B* aberto, o capacitor carrega através do resistor *R*. Este resistor limita a corrente de carga, de modo que leva tempo para a tensão sobre o capacitor aumentar até a tensão de pico desejada. A Figura 9-17c mostra a tensão crescente sobre *C* neste momento.

Depois da tensão sobre o capacitor ter atingido o valor máximo desejado, o interruptor *A* é aberto e o *B* é fechado. Isto faz com que o capacitor descarregue rapidamente. Isto está também indicado no formato da onda na Figura 9-17c. Pode-se notar que o tempo de descarga é muito curto em comparação com o tempo necessário para carga.

Se você puder operar os interruptores, poderia produzir muito rapidamente uma onda com formato de dentes-de-serra sobre C_1, como a onda indicada na Figura 9-17d. Na prática, dispositivos eletrônicos são usados para controlar a carga e a descarga do capacitor. Em aplicações práticas, um componente amplificador como uma válvula, um transistor bipolar ou um transistor FET são usados para realizar as operações de LIGA/DESLIGA necessárias.

Fig. 9-17: Oscilador de relaxação: (**a**) elementos básicos; (**b**) circuito simples; (**c**) um ciclo; (**d**) dois ciclos.



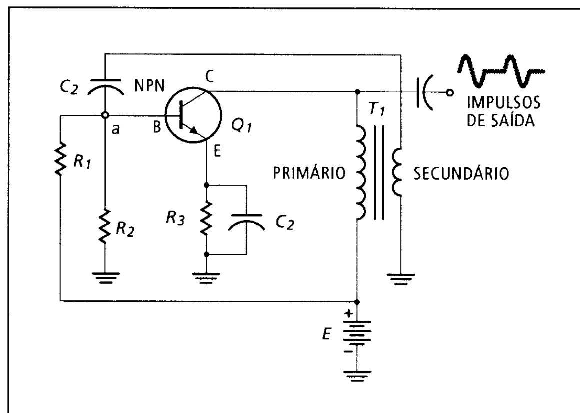


Fig. 9-18: Um oscilador de porta.

Conforme mencionado anteriormente, o aumento e a redução da corrente através de uma bobina poderiam também ser usados para produzir um oscilador de relaxação.

Um exemplo de circuito Oscilador de Relaxação

A Figura 9-18 mostra um exemplo de oscilador de relaxação. Este circuito é conhecido como *oscilador de porta*. Estes osciladores são usados em receptores de TV e radar. (Outros osciladores de relaxação serão abordados num próximo capítulo.) Este tipo de oscilador gera uma série de impulsos, não uma onda senoidal contínua.

O circuito da Figura 9-18 mostra um tipo de acoplamento com realimentação por transformador igual àquele usado num oscilador Armstrong. Porém, não há circuito algum *LC* sintonizado. O aumento da corrente de coletor causa uma realimentação regenerativa, através do capacitor C_1 para a base do transistor, tornando a base positiva. Isto faz com que a corrente do coletor do transistor torne-se saturada (corrente máxima). Ao mesmo tempo, carrega rapidamente o capacitor C_1 com carga negativa do lado da base. Uma vez atingida a saturação, a corrente através do primário de T_1 não aumenta mais e não há mais qualquer tensão de realimentação induzida no secundário de T_1. Isto provoca uma queda da tensão positiva da base e uma diminuição da corrente do coletor. Agora, a corrente decrescente através do primário de T_1 induz uma tensão de realimentação negativa que é aplicada à base e que desliga rapidamente o transistor. Por causa da carga prévia de C_1 que era negativa do lado da base, o transistor é mantido desligado até que C_1 possa descarregar o suficiente para

permitir ao transistor conduzir novamente. Neste momento, o ciclo se repete novamente, e o processo inteiro continua, até o desligamento da fonte de energia. O intervalo de tempo que C_1 leva para descarregar sua tensão negativa é função do tamanho de C_1 e de R_2, através dos quais a descarga é feita. Conforme indicado na Figura 9-18, a saída do oscilador de porta é uma série contínua de impulsos positivos e negativos. Qualquer uma das polaridades pode ser utilizada para disparar outros circuitos à taxa de repetição dos impulsos.

RESUMO

1. Em regra geral, se existe um circuito *LC* num oscilador variável, trata-se de um oscilador de rádio-freqüência.
2. Existem exceções para a regra acima. Osciladores de freqüência fixa são usados em muitos circuitos de transmissores.
3. Num oscilador Armstrong, o sinal de realimentação passa do primário para o secundário de um transformador.
4. Num oscilador em série, a corrente contínua através do dispositivo amplificador flui através de alguma parte do circuito sintonizado.
5. Num circuito oscilador alimentado em paralelo, a corrente contínua através do dispositivo amplificador não flui através de parte alguma do circuito sintonizado.
6. O oscilador Hartley tem uma realimentação indutiva, porém difere do oscilador Armstrong pelo fato de que usa um autotransformador.
7. Num oscilador Colpitts, a realimentação é determinada pelos dois capacitores em série sobre a bobina.
8. O tamanho físico de um cristal piezoelétrico determina a freqüência de sua oscilação.
9. O circuito equivalente de um cristal é semelhante ao circuito sintonizado usado em osciladores *LC*.
10. Em aplicações especiais, o cristal piezoelétrico pode ser colocado numa estufa para manter um controle muito preciso da temperatura. Isto manterá o cristal vibrando em uma freqüência exata.
11. Um oscilador de relaxação produz uma onda de formato não-senoidal. Osciladores de relaxação operam sobre o princípio de carga e descarga de capacitores ou aumentando e reduzindo a corrente através de indutores.
12. Um oscilador de porta é um exemplo de oscilador de relaxação. Usa um circuito de realimentação por transformador e sua saída é uma série de impulsos.

PERGUNTAS DE REVISÃO PROGRAMADA

(As instruções para o uso desta seção de revisão programada são fornecidas no Capítulo 1 / pág. 8.)

Iremos rever os conceitos importantes deste capítulo. Se você entendeu o material, poderá progredir facilmente por meio desta seção. Não pule este material porque nele são apresentadas algumas informações teóricas adicionais.

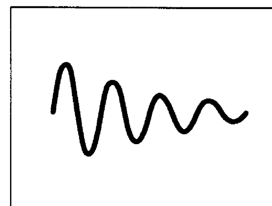


Fig. 9-19: Que tipo de onda é esta?

1 **A Figura 9-19 mostra**

[A] **uma forma especial de onda em dente-de-serra**
(passe para o item 17).

[B] **uma onda atenuada**
(passe para o item 9).

2 A resposta correta para a pergunta no item 8 é B. *A equação para a freqüência de ressonância*

$$f_r = \frac{1}{2\sqrt{LC}}$$

não envolve o ganho do amplificador nem o valor da tensão fornecida para o amplificador. Esta equação mostra que a freqüência de ressonância depende apenas da indutância e da capacitância. Aqui está a próxima pergunta:

O termo *efeito de volante* refere-se a

[A] **oscilação num oscilador de relaxação**
(passe para o item 11).

[B] **oscilação num circuito *LC***
(passe para o item 16).

3 *A resposta correta para a pergunta no item 24 é A. Um amplificador convencional é também conhecido como* ***circuito cátodo-terra***, ***circuito emissor-terra*** *ou* ***circuito fonte-terra***. *O sinal de entrada está dirigido à grade, base ou porta e o*

sinal de saída é tirado da placa, coletor ou dreno. O sinal de salda está defasado em 180° em relação ao sinal de entrada em amplificadores convencionais. Aqui está a próxima pergunta:

Quando a corrente que flui através do componente amplificador flui também através do circuito sintonizado do oscilador, diz-se do circuito que é:

A **Alimentado em série** (passe para o item 15).
B **Alimentado em paralelo** (passe para o item 26).

4 *Se sua resposta para a pergunta no item 8 é A, está errada. A equação para a freqüência de ressonância não envolve o ganho de um amplificador. Essa é uma outra maneira de dizer que a freqüência de ressonância não é diretamente afetada pelo ganho.* Passe para o item 2.

5 *Se sua resposta para a pergunta no item 15 é A, está errada. Um amplificador-emissor tem alto ganho de tensão.* Passe para o item 12.

6 *A resposta correta para a pergunta no item 9 é B. Um transistor deve ter polarização direta para começar a conduzir.*

Uma válvula começa a conduzir na ausência de polarização na grade, de modo que um circuito oscilador com válvulas, geralmente tem polarização por fuga de grade. Quando o circuito é energizado pela primeira vez, a válvula começa a entrar em saturação e o ciclo do circuito oscilante começa.

Quando um transistor bipolar for usado, é necessário proporcionar polarização direta ao transistor para iniciar a condução. A menos que o transistor já esteja conduzindo, as oscilações não ocorrem. Aqui está a próxima pergunta:

Num circuito oscilador com transistores bipolares, o sinal de realimentação na base deve ser:

A **Defasado em 180° com o sinal no coletor** (passe para o item 13).
B **Em fase com o sinal no coletor** (passe para o item 19).

7 *Se sua resposta para a pergunta no item 27 é A, está errada. Estude os componentes de um circuito oscilador de onda senoidal, conforme indicado na Figura 9-1 e, em seguida,* passe para o item 14.

8 *A resposta correta para a pergunta no item 13 é A. O formato da onda de saída de um oscilador de relaxação pode ser uma onda quadrada, uma onda em dente-de-serra, uma série de impulsos ou quase qualquer outro formato de onda não-senoidal.* Aqui está a próxima pergunta:

A freqüência de ressonância de um oscilador de onda senoidal é alterada

A **Alterando-se o ganho do amplificador** (passe para o item 4).
B **Alterando-se o valor da indutância ou da capacitância no circuito sintonizado** (passe para o item 2).

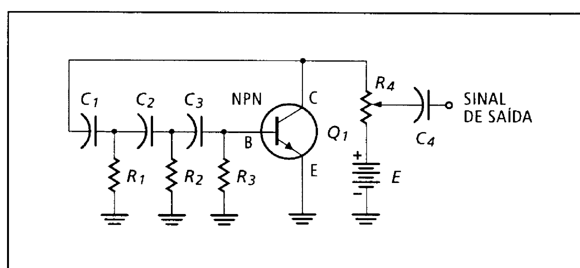


Fig. 9-20: O que está errado neste circuito?

9 *A resposta correta para a pergunta no item 1 é B. Para uma onda atenuada, cada novo ciclo tem amplitude menor que o ciclo anterior.* Aqui está a próxima pergunta:

O circuito da Figura 9-20 não irá funcionar. Por quê?

A **A tensão da bateria está invertida** (passe para o item 25).
B **Não há polarização direta para Q_1** (passe para o item 6).

10 *Se sua resposta para a pergunta no item 24 é B, está errada. Um seguidor de fonte de transistor FET é, de fato, um circuito dreno comum. O sinal de saída tirado da fonte está em fase com o sinal de entrada na porta.* Passe para o item 3.

11 *Se sua resposta para a pergunta no item 2 é A, está errada. A Figura 9-4 mostra o princípio do efeito de volante.* Passe para o item 16.

12 *A resposta correta para a pergunta no item 15 é B. O circuito coletor comum não proporciona ganho algum de tensão. Em outras palavras, a tensão do sinal de saída é inferior à tensão do sinal de entrada.* Aqui está a próxima pergunta:

Um outro nome para um circuito coletor comum é:

[A] **Seguidor de emissor** (passe para o item 18).
[B] **Amplificador convencional** (passe para o item 22).

13 *A resposta correta para a pergunta no item 6 é A. A realimentação é sempre regenerativa num circuito oscilador.* Aqui está a próxima pergunta:

Uma onda não-senoidal é produzida por:

[A] **Um oscilador de relaxação** (passe para o item 8).
[B] **Um oscilador Armstrong** (passe para o item 23).

14 *A resposta correta para a pergunta no item 27 é B. Um circuito sintonizado determina a freqüência de ressonância da maioria dos circuitos osciladores de onda senoidal.* Aqui está a próxima pergunta:

Uma estufa para o cristal é usada para:

[A] **Fornecer energia térmica para operar o cristal** (passe para o item 20).
[B] **Manter a temperatura do cristal constante de modo que a freqüência do oscilador não varie** (passe para o item 24).

15 *A resposta correta para a pergunta no item 3 é A. Está é a definição de um oscilador alimentado em série.* Aqui está a próxima pergunta:

Qual dos seguintes amplificadores não proporciona ganho algum de tensão?

[A] **Emissor comum** (passe para o item 5).
[B] **Coletor comum** (passe para o item 12).

16 *A resposta correta para a pergunta no item 2 é B. A corrente resultante do efeito volante num circuito sintonizado é uma corrente oscilante, conforme indicado na Figura 9-4.* Aqui está a próxima pergunta:

O circuito de realimentação de um oscilador de porta é como o circuito de realimentação de:

[A] **Um oscilador com deslocamento de fase** (passe para o item 21).
[B] **Um oscilador Armstrong** (passe para o item 27).

17 *Se sua resposta para a pergunta no item 1 é A, está errada. Uma onda em dente-de-serra está indicada na Figura 9-17. Ela não se parece com a onda indicada na Figura 9-19.* Passe para o item 9.

18 *A resposta correta para a pergunta no item 12 é A. Os circuitos bipolares de seguidor têm seu coletor aterrado. O sinal de saída no emissor está em fase com o sinal de entrada na base. Não há ganho de tensão e estes circuitos são principalmente usados para combinar uma alta impedância com uma baixa impedância.* Aqui está a próxima pergunta:

Como já visto anteriormente, a equação para a freqüência de ressonância de um circuito sintonizado é:

$$f_r = \frac{1}{2\sqrt{LC}}$$

A freqüência de ressonância irá aumentar ou diminuir quando você mantiver a indutância constante e aumentar a capacitância?

....

....

....

....

Após determinar a resposta, passe para o item 28.

19 *Se sua resposta para a pergunta no item 6 é B, está errada. A realimentação num oscilador deve ser regenerativa. Isto significa que o sinal de realimentação deve ser realimentado em fase com o sinal de base. A menos que o sinal de base e o sinal de realimentação estejam em fase, a oscilação não pode ocorrer.* Passe para o item 13.

20 *Se sua resposta para a pergunta no item 14 é A, está errada. A energia elétrica é usada para operar um cristal. Esta energia provém do dispositivo amplificador.* Passe para o item 24.

21 *Se sua resposta para a pergunta no item 16 é A, está errada. Os osciladores com deslocamento de fase usam uma rede de realimentação RC.* Passe para o item 27.

22 *Se sua resposta para a pergunta no item 12 é B, está errada. Um amplificador bipolar convencional possui o emissor ligado à massa.* Passe para o item 18.

23 *Se sua resposta para a pergunta no item 13 é B, está errada. Um oscilador Armstrong produz um sinal de saída em forma de onda senoidal.* Passe para o item 8.

24 *A resposta correta para a pergunta no item 14 é B. Um cristal requer energia elétrica e não energia térmica. A finalidade da estufa é manter a temperatura do cristal constante. Isto é necessário para manter a freqüência num valor exato.* Aqui está a próxima pergunta:

Qual dos seguintes amplificadores proporciona um sinal de saída defasado em 180° em relação ao seu sinal de entrada?

[A] **Amplificador convencional** (passe para o item 3).
[B] **Seguidor de fonte** (passe para o item 10).

25 *Se sua resposta para a pergunta no item 9 é A, está errada. O transistor é do tipo NPN e seu coletor é ligado ao lado positivo da fonte de tensão. Esta é a polaridade adequada para um transistor NPN.* Passe para o item 6.

26 *Se sua resposta para a pergunta no item 3 é B, está errada. Aprenda as definições dos osciladores alimentados em série e alimentados em paralelo e, em seguida,* passe para o item 15.

27 *A resposta correta para a pergunta no item 16 é B. Tanto o oscilador Armstrong como o oscilador de porta usam um transformador para a tensão de realimentação. A diferença entre os dois circuitos é que o oscilador Armstrong possui um circuito sintonizado para determinar a freqüência. No oscilador de porta, a freqüência de repetição é determinada pela taxa de descarga do capacitor de entrada.*
Aqui está a próxima pergunta:

O circuito *LC* que determina a freqüência num circuito oscilador é chamado:

[A] **Rede de realimentação** (passe para o item 7).
[B] **Um circuito sintonizado** (passe para o item 14).

28 *Aumentando o tamanho de um capacitor irá aumentar o denominador da equação para a freqüência de ressonância. Quando você aumentar o denominador de uma fração, reduzirá o valor da fração. Portanto, aumentando a capacitância irá reduzir a freqüência de ressonância.*

Por raciocínio semelhante, aumentar a indutância irá também diminuir a freqüência de ressonância. Obviamente, o inverso é também verdade. Diminuir a capacitância ou a indutância, irá aumentar a freqüência de ressonância.

Você completou agora as perguntas de revisão programada. O passo seguinte é pôr algumas destas idéias em prática, em experiências de laboratório. Passe para a seção de experiências deste capítulo.

EXPERIÊNCIAS

(As experiências descritas nesta seção podem ser realizadas na placa de circuitos descrita no Anexo C ou numa montagem de laboratório similar.)

■ FINALIDADE

Nesta experiência você irá montar um retificador de onda completa, um oscilador de relaxação com transistor unijunção e um amplificador de potência. Você irá demonstrar que a freqüência de oscilação é determinada pela combinação resistor-capacitor. Isto é típico para osciladores de onda não-senoidal.

Como parte desta experiência, você irá aprender alguns métodos valiosos para localizar defeitos em circuitos eletrônicos.

Você irá construir a fonte de alimentação, o oscilador e o amplificador separadamente. Em seguida, você irá combiná-los numa unidade operante. Isto pode ser chamado abordagem *modular* dos circuitos. No Capítulo 11, a idéia de construção modular será desenvolvida mais extensamente.

■ TEORIA

Existe um certo número de componentes que são úteis por causa de seu comportamento de "disparo". Não irão conduzir corrente, até que a tensão sobre seus terminais atinja um valor mínimo.

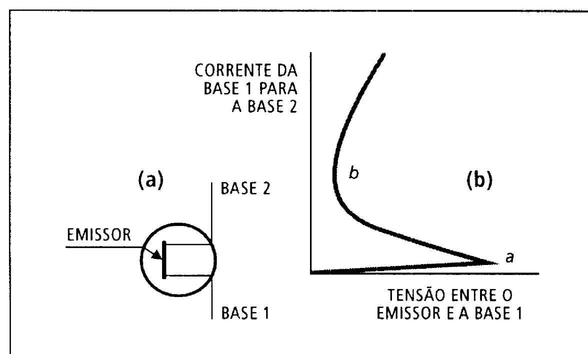
Uma lâmpada neon é um bom exemplo de um componente de "disparo" de dois terminais. A lâmpada neon tem um ponto de "disparo" que se situa geralmente entre 50 e 100 volts, dependendo do tipo de lâmpada. Enquanto a tensão sobre os terminais da lâmpada for menor que o ponto de controle (chamado *potencial de disparo* da lâmpada), não há fluxo de corrente. Quando a tensão sobre a lâmpada excede o potencial de disparo, a lâmpada acende-se e conduz corrente. Num capítulo mais adiante, você irá aprender como esta característica torna possível o uso de uma lâmpada neon num oscilador de relaxação.

Diodos de três camadas (chamados *diacs*) e diodos de quatro camadas são exemplos de componentes de "disparo" de estado sólido de dois terminais. A diferença entre eles é que o diac pode conduzir nos dois sentidos enquanto um diodo de quatro camadas pode conduzir apenas num sentido. Em ambos os diodos, não há fluxo de corrente até que a tensão sobre seus terminais atinja o ponto de "disparo".

O transistor unijunção (UJT) indicado na Figura 9-21 é um exemplo de componente de "disparo" de três terminais. O símbolo na Figura 9-21a mostra que este transistor possui um emissor e duas junções de base, porém não possui coletor. Quando a tensão entre o emissor e a Base 1 atingir um valor mínimo, ocorrerá fluxo de corrente através do transistor UJT da Base 1 para a Base 2.

O gráfico da Figura 9-21b mostra a tensão entre o emissor e a Base 1 num eixo e a corrente da Base 1 para a Base 2 (através do transistor unijunção) no outro eixo. Pode-se observar que a tensão deve ser aumentada até o ponto *a* antes que se inicie um fluxo importante de corrente. Depois de a corrente começar a fluir, a tensão para manter uma corrente importante cai para um valor mais baixo (ponto *b* na curva).

Fig. 9-21: O transistor unijunção: (a) símbolo; (b) curva característica.



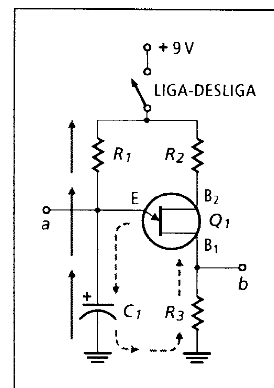


Fig. 9-22: Oscilador com relaxação com transistor unijunção.

A Figura 9-22 mostra como um transistor unijunção pode ser usado como oscilador de relaxação. Este circuito possui dois ramos separados. Um ramo (R_1 e C_1) produz uma tensão em rampa (parte de uma onda em dente-de-serra) no ponto *a*. Uma tensão em rampa aumenta constantemente, conforme o capacitor vai carregando. O outro ramo (R_2, Q_1 e R_3) descarrega o capacitor quando a tensão atinge o ponto de disparo.

Vamos admitir que o circuito acaba de ser colocado em funcionamento. O capacitor C_1 começa a carregar através de R_1. As setas cheias mostram o caminho da corrente de carga. A tensão no ponto *a* aumenta, conforme o capacitor vai carregando.

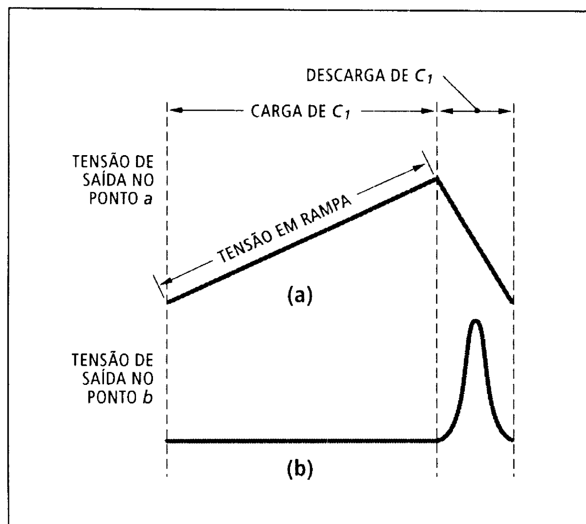


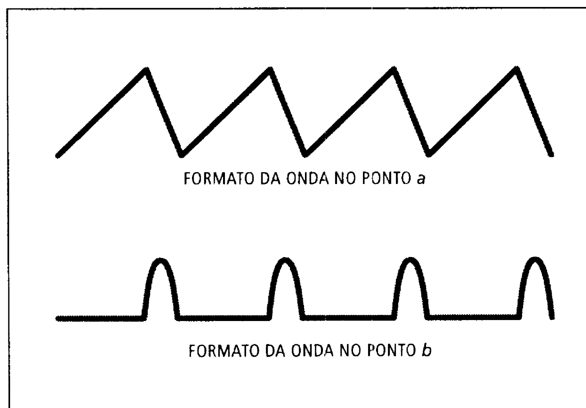
Fig. 9-23: Um ciclo de onda de saída para o circuito da Figura 9-22: (**a**) dente-de-serra no ponto *a*; (**b**) impulso no ponto *b*.

A Figura 9-23 mostra o formato da onda produzida no ponto *a*.

Quando a tensão sobre o capacitor da Figura 9-22 atinge o ponto de disparo, o transistor unijunção conduz através de R_2 e R_3. Ao mesmo tempo, o capacitor C_1 descarrega através de R_3 e da junção emissor-base 1. O caminho da corrente de descarga está indicado com setas pontilhadas na Figura 9-22.

Uma vez que a corrente flui através de R_3, durante apenas um curto período de tempo, enquanto C_1 está descarregando, a tensão sobre R_3 consiste em impulsos curtos. Este é o formato da onda no ponto *b* do circuito, conforme indicado na Figura 9-23.

Fig. 9-24: Vários ciclos de onda para o circuito da Figura 9-22.



A Figura 9-24 mostra vários ciclos de onda para o circuito oscilador. A saída de impulsos não é suficientemente forte para operar diretamente um transdutor, de modo que você irá usar um amplificador de potência para atuar como alto-falante em sua experiência. O oscilador com transistor unijunção irá fornecer o sinal de entrada para o amplificador de potência.

PRIMEIRA PARTE

■ MONTAGEM DO TESTE

A Figura 9-25 mostra o circuito da fonte de alimentação. A Figura 9-25a mostra a montagem do teste e a Figura 9-25b mostra o diagrama chapeado.

■ PROCEDIMENTO

☐ *Etapa 1:* Efetuar as ligações do circuito conforme indicado na Figura 9-25. Que tipo de fonte de alimentação é esta?

....

Sua resposta deve ser: retificador de onda completa.

☐ *Etapa 2:* Medir a tensão contínua sobre a saída. Esta medida deve ser obtida diretamente de um dos capacitores de filtro. Anotar aqui o valor da tensão.

....

O valor encontrado deve ser de cerca de 9 volts. O valor exato depende do valor da tensão na linha de alimentação e da resistência dos diodos.

☐ *Etapa 3:* O circuito possui dois capacitores eletrolíticos de filtro com 250 microfarads cada, ligados em paralelo. Qual é a capacitância da combinação dos dois capacitores em paralelo?

.... **microfarads**

Sua resposta deve ser 500 microfarads. Quando capacitores são ligados em paralelo, os valores de suas capacitâncias adicionam-se.

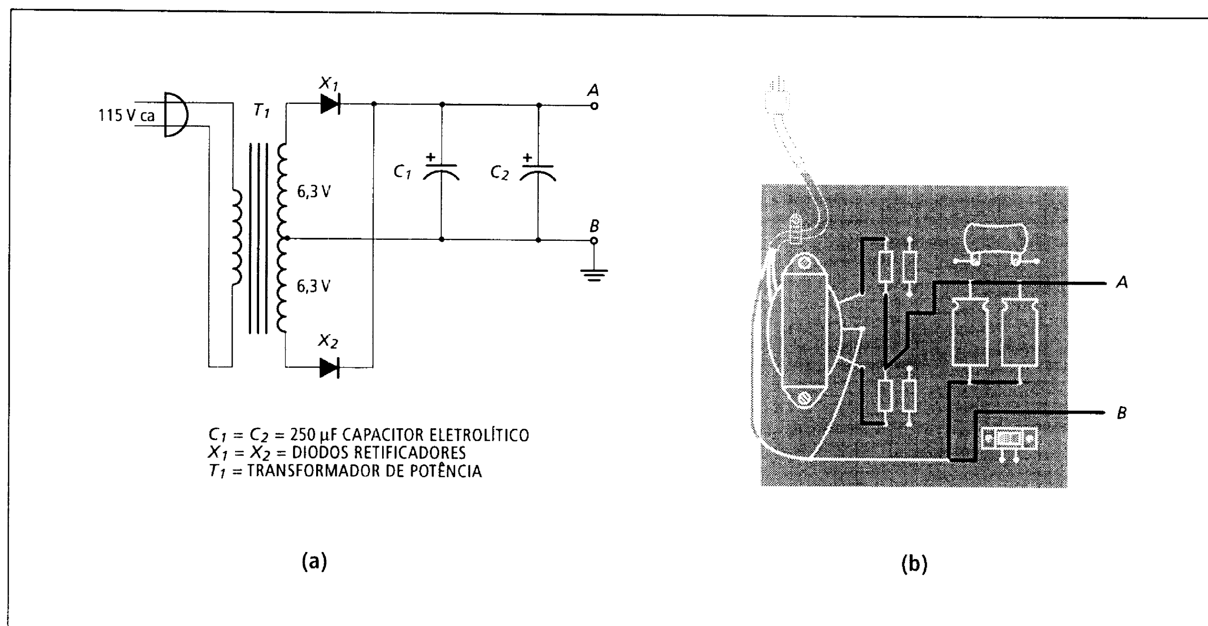


Fig. 9-25: Montagem da fonte de alimentação: (a) montagem do teste; (b) diagrama chapeado.

☐ *Etapa 4:* Se o diodo X_2 for removido do circuito da Figura 9-25, qual tipo de fonte de alimentação você teria?

....

Sua resposta deveria ser um retificador de meia onda. O circuito iria funcionar, porém a tensão iria cair mais quando uma carga fosse ligada nos terminais *A* e *B*. Em outras palavras, a regulagem não é tão boa. Também haveria mais ondulação.

SEGUNDA PARTE

MONTAGEM DO TESTE

A Figura 9-26 mostra o circuito do amplificador de potência. A Figura 9-26a mostra o arranjo de teste e a Figura 9-26b mostra o diagrama chapeado.

PROCEDIMENTO

☐ *Etapa 1:* Efetuar as ligações do circuito indicadas na Figura 9-26. Este é um amplificador de potência com polarização simples. Certifique-se de que o circuito da fonte de alimentação não esteja energizado quando você for ligar o amplificador de potência nele. Isto é uma regra básica de laboratório.

Não ligue ou desligue componentes num circuito com a força LIGADA.



Os picos de corrente (chamados *transientes)* podem destruir um componente.

Nesta seção você irá realizar uma experiência que requer o desligamento de um componente com a energia ligada. Esta é uma exceção à regra. Mesmo assim, você não deve ligar e desligar o circuito mais de algumas vezes para demonstrar os fenômenos descritos.

☐ *Etapa 2:* Ligar a fonte de alimentação conforme indicado.

☐ *Etapa 3:* Ajustar R_B para o centro de sua escala.

☐ *Etapa 4:* Uma maneira correta de verificar o amplificador de potência é abrir momentaneamente a ligação do circuito-emissor. Se a corrente estiver fluindo do emissor para o coletor e através do alto-falante, você irá ouvir um ruído de "clic" quando ligar ou desligar o fio de ligação do emissor. Faça esta experiência.

Você está ouvindo um ruído no alto-falante?

....**Sim ou Não**

Sua resposta deve ser sim. Se você não ouvir ruído algum, verifique a tensão do coletor. Deve ser quase igual á tensão da fonte de alimentação. Verifique também a tensão de base. Deve ser um valor positivo e o valor deve mudar quando você variar o ajuste de R_B. Se estas tensões forem corretas, troque o transistor em primeiro lugar e, em seguida, o alto-falante para isolar o problema.

☐ *Etapa 5:* Um outro teste rápido para o transistor consiste em colocar momentaneamente em curto o emissor com a base.

Certifique-se de colocar em curto *apenas* os fios de ligação do emissor e da base.



Quando o emissor estiver em curto com a base, a corrente através do transistor irá parar repentinamente. Isto faz um ruído de "clic" no alto-falante. Faça esta experiência. Você está ouvindo um som no alto-falante?

....**Sim ou Não**

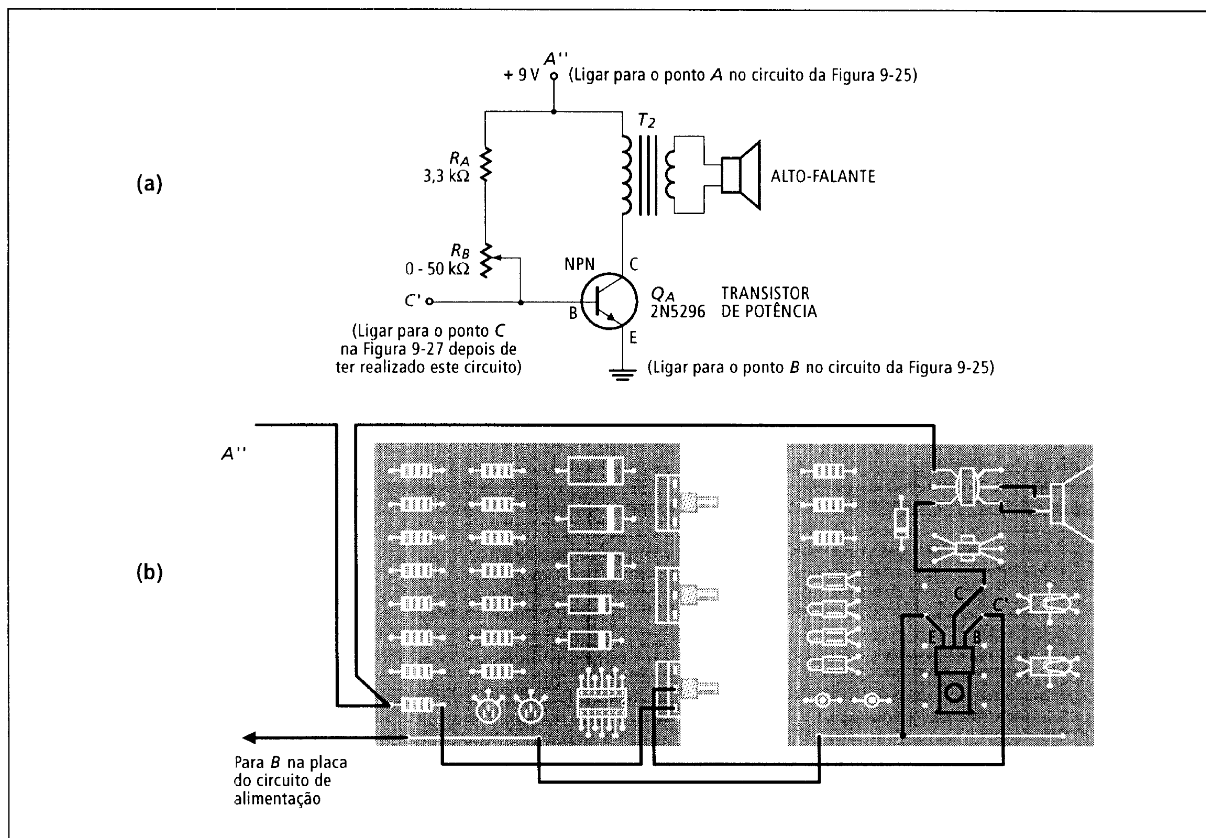
Sua resposta deve ser sim.

TERCEIRA PARTE

■ MONTAGEM DO TESTE

A Figura 9-27 mostra o oscilador com transistor unijunção. A Figura 9-27a mostra a montagem do teste e a Figura 9-27b mostra o desenho chapeado.

Fig. 9-26: Montagem do amplificador de potência: (**a**) montagem do teste; (**b**) diagrama chapeado.



PROCEDIMENTO

☐ *Etapa 1:* Efetuar as ligações do circuito na Figura 9-27. Este é um oscilador com transistor unijunção como aquele que você estudou na seção teórica. Ligue o oscilador na fonte de alimentação e o amplificador de potência conforme indicado. A Figura 9-28 mostra o conjunto completo para esta experiência. A Figura 9-28a mostra o arranjo de teste e a Figura 9-28b mostra o desenho chapeado. Ajuste os resistores para proporcionar um som de baixo volume na saída do alto-falante.

☐ *Etapa 2:* Você está ouvindo um som no alto-falante?

Sim ou Não

Sua resposta deve ser sim. Se você tiver um bom ouvido para sons musicais, irá reconhecer. Sem dúvida, que o som não é puro. Isto porque é produzido por um oscilador não-senoidal.

☐ *Etapa 3:* Ligar o capacitor C_c em paralelo com C_Q. Qual efeito isto tem sobre o som?

Mais alto ou mais baixo

A freqüência do som deve ser mais baixa. Leva mais tempo para carregar os dois capacitores. Lembre-se de que os valores das capacitâncias adicionam-se quando os capacitores são ligados em paralelo.

Uma vez que leva mais tempo para carregar os capacitores, cada ciclo irá levar um período de tempo maior. O tempo para um ciclo é chamado *período* e é representado pela letra *T*. A freqüência, pela letra *f*. O período e a freqüência são relacionados pela equação

$$f = \frac{1}{T}$$

À medida que *T* aumenta, *f* diminui.

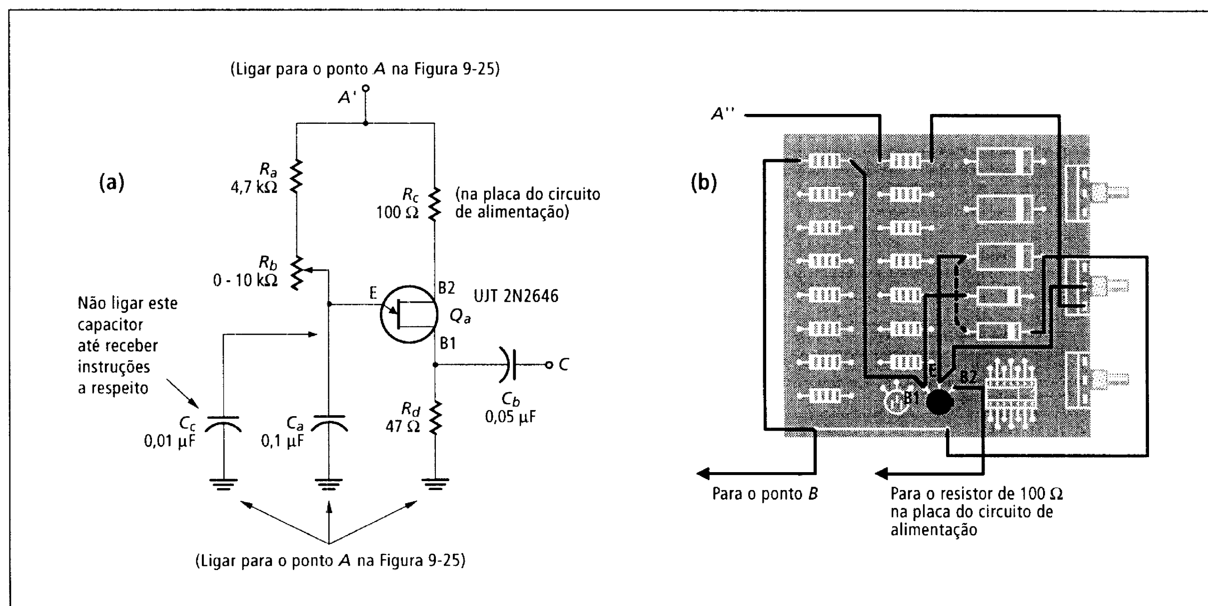
☐ *Etapa 4:* Desligar C_c.

☐ *Etapa 5:* Quando você diminui R_b, a freqüência aumenta ou diminui? Faça a experiência.

Aumenta ou Diminui

Sua resposta deveria ser aumenta. Com um valor menor de R_b, a corrente de carga é maior e o tempo exigido para carregar o capacitor é menor. Quanto menor for o tempo para um ciclo, mais alta será a freqüência.

Fig. 9-27: Montagem do oscilador com transistor unijunção: (**a**) montagem do teste; (**b**) diagrama chapeado.



☐ *Etapa 6:* De acordo com a seção teórica, deve haver um sinal de saída do emissor do transistor unijunção. Ligar a saída do emissor para o amplificador de potência, conforme indicado na Figura 9-29. A Figura 9-29a mostra o arranjo de teste e a Figura 9-29b mostra o desenho chapeado. Energizar o circuito. Você está ouvindo o som no alto-falante?

.... **Sim ou Não**

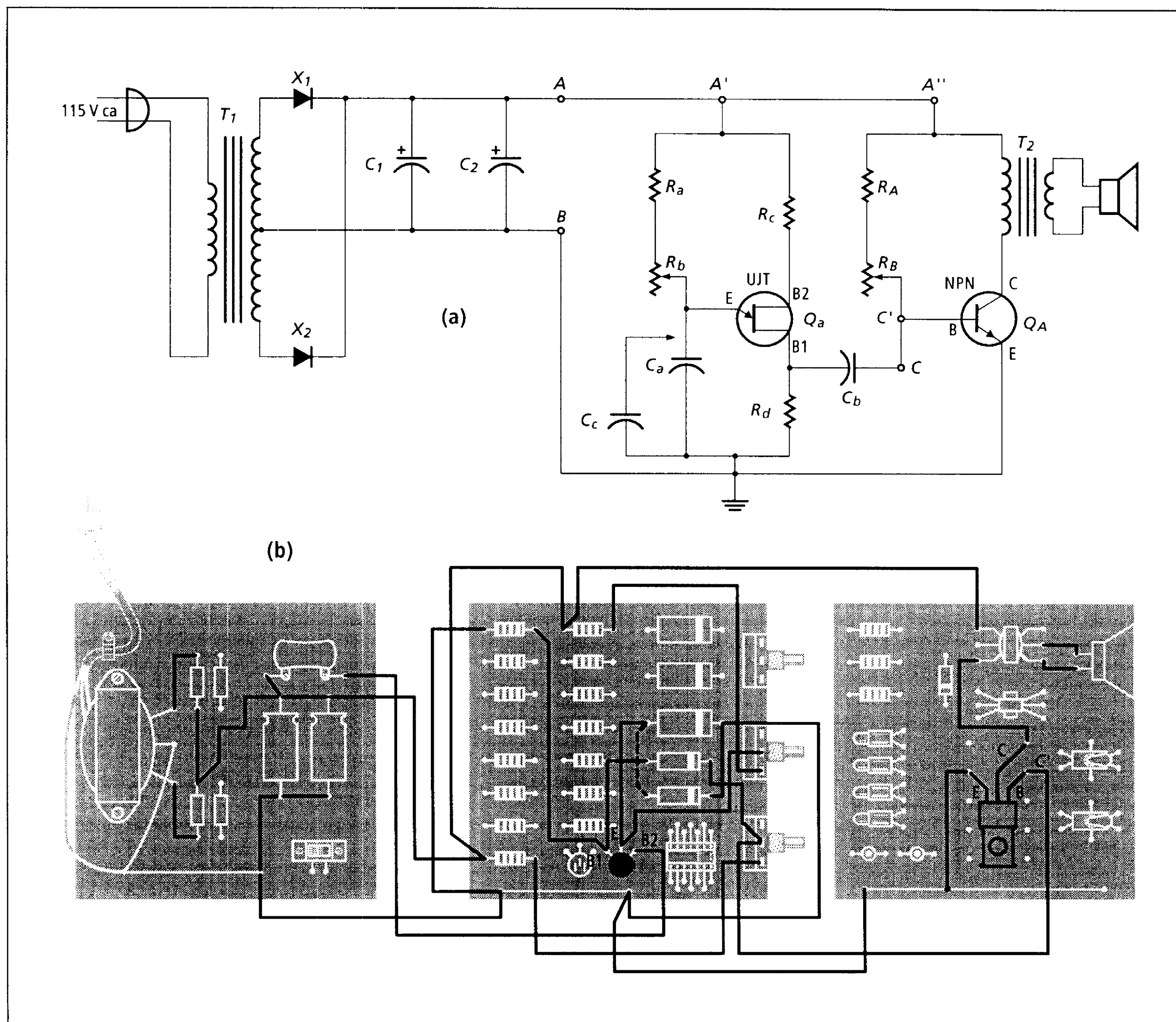
A resposta deve ser sim. O som será diferente daquele que você irá obter com a saída da Base 1. A razão é que os formatos de onda dos dois pontos são diferentes.

■ CONCLUSÕES

Um transistor unijunção pode ser usado num oscilador com relaxação. A freqüência de oscilação depende do tempo necessário para carregar o capacitor até o ponto de disparo. Este tempo pode ser alterado mudando-se o valor do resistor ou do capacitor.

Existe um sinal de saída no emissor do transistor unijunção e na Base 1. Apesar de não ter sido demonstrado na experiência, existe também uma saída na Base 2. Porém, esta saída é raramente usada. Tem o mesmo formato de onda que aquele indicado na Figura 9-24 para o ponto *b*, porém é invertida (de cabeça para baixo).

Fig. 9-28: O circuito completo: (a) montagem do teste; (b) diagrama chapeado.



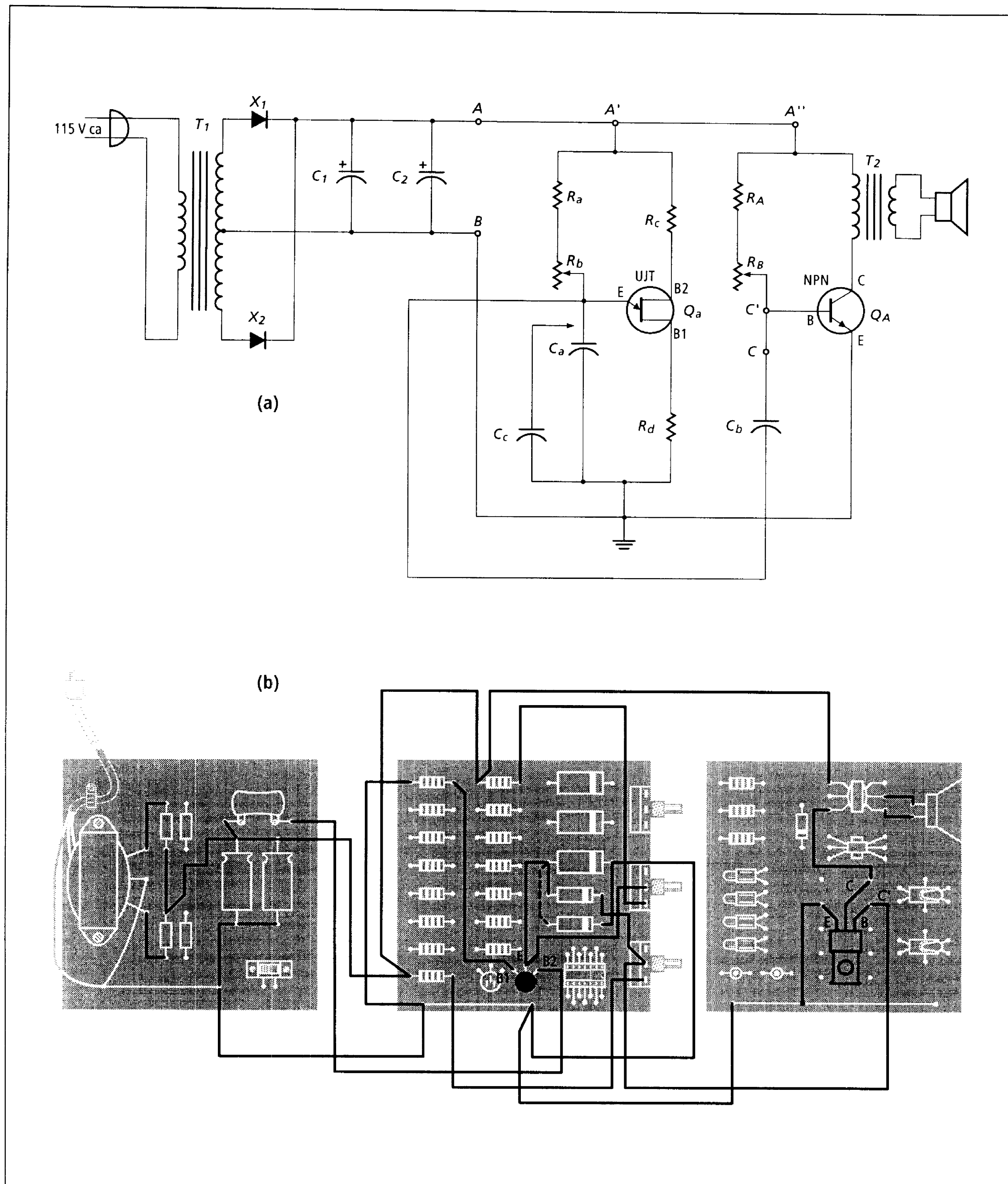


Fig. 9-29: Usando saída em dente-de-serra para um sinal de áudio:
(a) montagem do teste; (b) diagrama chapeado.

AUTOTESTE COM RESPOSTAS

(As respostas com discussões encontram-se no final do capítulo / pág. 200)

1. A realimentação num circuito oscilador deve ser

(a) da placa para o cátodo;

(b) da porta para o dreno;

(c) regenerativa;

(d) degenerativa.

2. Uma onda em dentes-de-serra é produzida por um oscilador

(a) Colpitts;

(b) Hartley;

(c) de cristal;

(d) com transistor unijunção.

3. Qual dos seguintes amplificadores possui uma saída que está defasada com a entrada?

(a) dreno comum;

(b) emissor comum;

(c) base comum;

(d) porta comum.

4. Para aumentar a freqüência de ressonância de um circuito oscilante LC você deveria

(a) aumentar a indutância;

(b) reduzir a indutância.

5. Qual das seguintes afirmações não está certa em relação a um oscilador ressonante?

(a) possui um circuito sintonizado *LC*;

(b) possui uma rede de realimentação;

(c) possui um amplificador;

(d) requer uma tensão contínua para ser amplificador.

6. Qual dos seguintes osciladores usa um transformador em sua rede de realimentação?

(a) Armstrong;

(b) Colpitts;

(c) de cristal;

(d) um transistor unijunção.

7. Quando a corrente contínua que passa pelo componente amplificador flui também através do circuito sintonizado, diz-se do oscilador que é alimentado:

(a) em série;

(b) em paralelo.

8. Qual dos seguintes osciladores de onda senoidal não usa um circuito oscilante *LC*?

(a) Armstrong;

(b) Hartley;

(c) Colpitts;

(d) de deslocamento de fase.

9. Um oscilador de porta é semelhante a um oscilador Armstrong no sentido de que

(a) ambos usam apenas transistores;

(b) ambos produzem ondas senoidais,

(c) ambos possuem realimentação com transformador;

(d) ambos possuem circuitos oscilantes.

10. Um oscilador que produz uma onda não-senoidal pela carga e descarga de um condensador é chamado de:

(a) carregador de carga;

(b) oscilador de onda completa;

(c) oscilador de relaxação;

(d) oscilador de meia onda.

RESPOSTAS PARA O AUTOTESTE

1. (c) - A pergunta é qual o tipo de realimentação que *precisa* ser usado. O único tipo que irá sustentar as oscilações é a realimentação regenerativa.

2. (d) - Todos os outros osciladores mencionados produzem uma onda senoidal.

3. (b) - Um amplificador emissor comum é um exemplo de amplificador convencional. Sua saída no coletor está defasada em 180° em relação a sua entrada na base.

4. (b) - Lembre-se de que reduzindo o denominador de uma fração aumenta-se o valor da fração. A equação

$$f_r = \frac{1}{2 \sqrt{LC}}$$

mostra que a freqüência irá aumentar se *L* ou *C* for reduzido

5. (b) - A Figura 9-7 (pág.181) mostra um exemplo de oscilador ressonante. Não possui circuito de realimentação.

6. (a) - Veja a Figura 9-8 (pág.182).

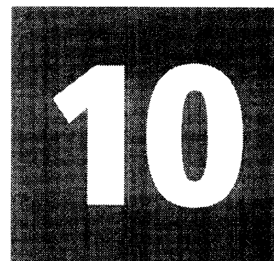
7. (a) - Esta é a definição de um oscilador alimentado em série.

8. (d) - A Figura 9-12 (pág.184) mostra o circuito para um oscilador com deslocamento de fase. Não possui circuito oscilante.

9. (c)

10. (c) - Nenhum dos outros termos tem significado algum em eletrônica.

O que são circuitos integrados e amplificadores operacionais?



INTRODUÇÃO

Em eletrônica, fazemos uma distinção entre dois tipos de sistemas: *analógico* e *digital*. Um sistema analógico produz uma saída que é proporcional à entrada do sistema. A entrada (ou saída) pode ser mecânica ou elétrica.

Um bom exemplo de um dispositivo analógico é o velocímetro de um automóvel. O velocímetro usa uma agulha ou ponteiro como dispositivo de saída. A deflexão do ponteiro depende da velocidade do automóvel. Você interpreta a velocidade lendo a posição do ponteiro numa escala atrás da agulha. O fato importante é que a posição do ponteiro depende da velocidade do carro. Portanto, isto é um sistema analógico.

Uma outra característica importante de um sistema analógico é que, toda vez que há uma entrada, há sempre uma saída. A saída é sempre diretamente proporcional à entrada. Se você alterar a velocidade do automóvel, o ponteiro do velocímetro indica a mudança de velocidade, mudando sua posição para um ponto diferente.

Um sistema digital é um sistema no qual a saída consiste de uma série de dígitos ou números. Estes fornecem um valor específico. Um bom exemplo disto é o odômetro num automóvel. O odômetro indica o número total de quilômetros que o automóvel percorreu. Se o odômetro indicar 13.156, você sabe que o automóvel já percorreu 13.156 km. Você não precisa primeiramente observar a posição do ponteiro e, em seguida, achar o número atrás do ponteiro, como no caso do velocímetro.



Fig. 10-1: Multímetros com leitura analógica e leitura digital: (**a**) com leitura analógica (por cortesia da Triplett); (**b**) com leitura digital (por cortesia da Triplett).

A Figura 10-1 mostra como os multímetros podem ser produzidos com saída analógica ou digital. O multímetro analógico da Figura 10-1a possui um ponteiro que deflete para um valor de tensão ou de resistência. Para ler o multímetro, você alinha o número ou o traço com a agulha.

O multímetro digital da Figura 10-1b não requer ponteiro nem escala. Você pode ler o valor diretamente.

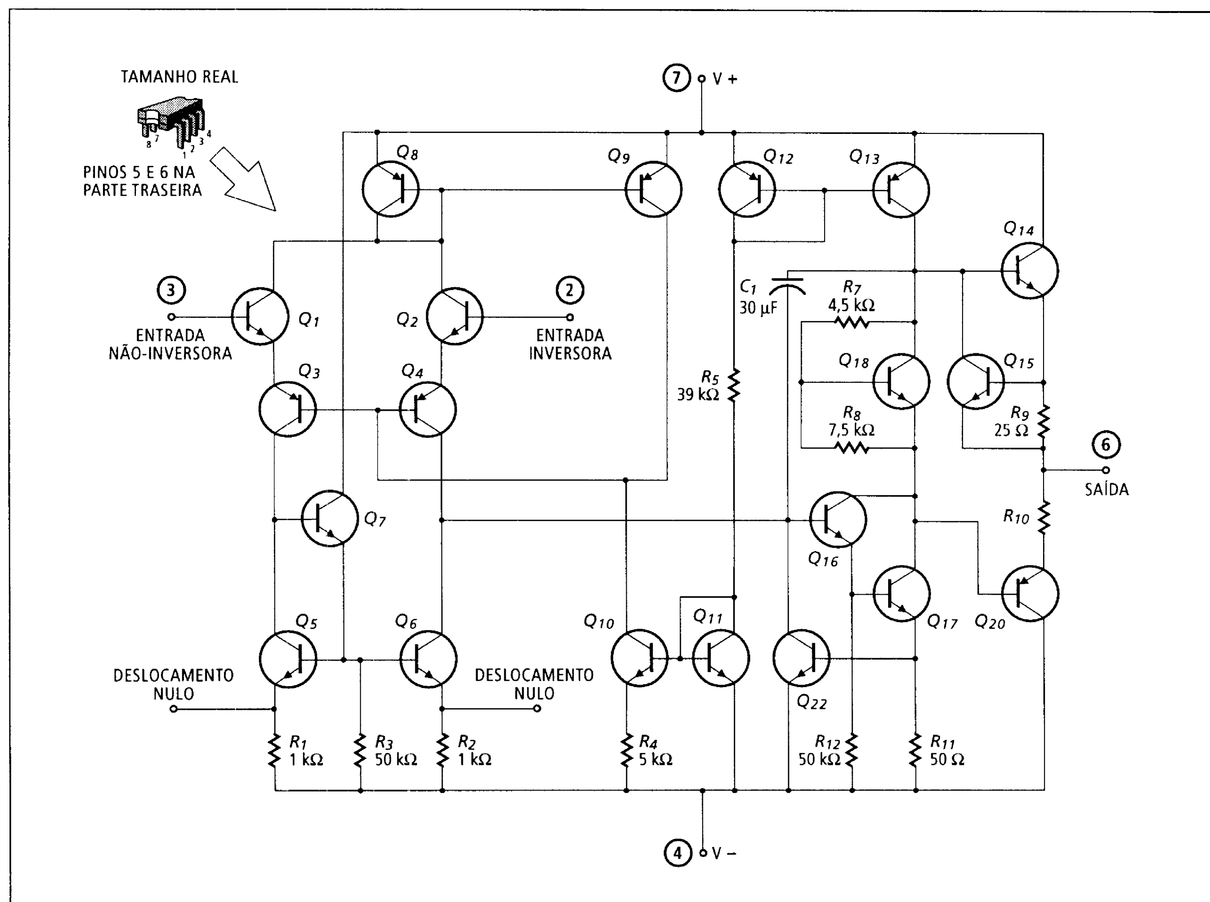
Em regra geral, os multímetros com saída analógica são mais baratos, porém os multímetros digitais são mais precisos. Desta forma, existe sempre uma *dependência* entre preço e precisão. Você não pode ter um preço baixo e alta precisão ao mesmo tempo.

A maioria dos primeiros computadores eletrônicos era do tipo analógico e muitos computadores analógicos estão ainda sendo fabricados. Produzem uma saída que depende do valor da entrada.

Ao projetar estes computadores, os engenheiros acharam necessário usar amplificadores para realizar *operações* matemáticas como: multiplicação, divisão, adição e subtração. São usados com amplificadores que possuem um ganho extremamente alto. Para realizar operações matemáticas, este amplificador deve usar valores adequados de realimentação. Em outras palavras, ligando parte do sinal de saída de volta com a entrada, o amplificador pode realizar as operações matemáticas.

O amplificador básico é o mesmo para todas as operações matemáticas e tornou-se conhecido como *amplificador operacional.* Evidentemente, as primeiras versões usavam válvulas. Isto significa que eram bastante grandes. Desperdiçavam muita energia porque os filamentos das válvulas precisavam ser aquecidos continuamente – mesmo que o amplificador fosse usado apenas de vez em quando. Hoje, a maioria dos amplificadores operacionais é do tipo *circuito integrado.*

Fig. 10-2: Diagrama esquemático de um amplificador operacional típico.



Um circuito integrado *(CI)* possui muitos transistores, resistores e capacitores, todos montados ou gravados numa única lâmina de silício. Além de economizar espaço, opera com baixo gasto de energia e é altamente confiável. A Figura 10-2 mostra o diagrama esquemático do circuito de um amplificador operacional típico. O desenho mostra o tamanho real deste amplificador operacional quando o mesmo está na forma de um circuito integrado.

O amplificador operacional é atualmente usado em muitos outros circuitos além dos computadores analógicos. Estão ainda sendo usados para operações matemáticas, porém estão também sendo usados como amplificadores, osciladores, comparadores e em muitos outros tipos de circuitos especializados.

Neste capítulo, você irá estudar alguns dos princípios básicos dos circuitos integrados. Você também irá estudar alguns dos usos dos amplificadores operacionais e aprender sobre circuitos.

Depois de estudar este capítulo, você poderá responder às seguintes perguntas:

- **O que são circuitos integrados?**
- **O que são circuitos integrados MSI e LSI?**
- **Como são fabricados os circuitos integrados?**
- **Qual a diferença entre um circuito integrado linear e um circuito integrado digital?**
- **O que é um amplificador operacional?**
- **O que é compensação de freqüência em amplificadores operacionais?**

INSTRUÇÃO

O que são Circuitos Integrados?

No começo da década de 60, a eletrônica de estado sólido estabeleceu-se firmemente na indústria eletrônica. Os transistores foram usados numa ampla variedade de circuitos e substituíram rapidamente as válvulas a vácuo.

Foi por volta de 1964, que surgiu a idéia do circuito integrado. O circuito integrado é simplesmente uma lâmina de silício no estado sólido, na qual foram montados ou gravados um grande número de componentes individuais. Assim, um circuito integrado pode conter vários estágios de amplificadores completos.

Todas as conexões entre os componentes do circuito são feitas automaticamente durante a fabricação do circuito integrado. Portanto, não é necessário realizar conexões internas com soldas. Esta é uma das razões de um circuito integrado ser mais confiável comparado com um circuito feito com componentes *discretos* (individuais) ligados entre si para formar um circuito. Peritos em confiabilidade dizem que muitos dos problemas em equipamento com ligações feitas manualmente são causados por conexões mal feitas na aderência. Existe também a possibilidade de ter sido feita solda incorreta de um fio de ligação com outro e isto requer muito tempo de investigação para localização do defeito e correção no circuito.

O que são Circuitos Integrados MSI e LSI?

Os circuitos integrados são freqüentemente identificados de acordo com o número de *componentes ativos* montados numa única lâmina. Componentes ativos são usados para gerar ou amplificar sinais. Um transistor é um componente ativo; porém, resistores são *componentes passivos*. Componentes passivos não produzem ou amplificam tensões ou sinais.

Se houver menos de 50 componentes ativos, o circuito integrado é chamado *circuito integrado MSI* (do inglês "Middle-Scale-Integrated Circuit" ou "circuito integrado de escala média"). Se existem mais de 50 componentes ativos, o circuito integrado é chamado *circuito integrado LSI* (do inglês "Large-Scale-Integrated Circuit" ou "circuito integrado de larga escala").

Os circuitos integrados são chamados *monolíticos* se o circuito completo for construido em uma única lâmina de silício. Se o circuito consiste em um circuito integrado com alguns minúsculos componentes discretos fixados no mesmo é chamado *circuito integrado híbrido.* Os circuitos híbridos e monolíticos são aproximadamente do mesmo tamanho, porém o tipo monolítico tem um valor maior de fabricação. O tipo híbrido é principalmente usado para serviços em freqüências muito elevadas ou de alta potência.

Usando métodos especiais, é possível alterar os componentes discretos num circuito integrado híbrido. Você nunca irá fazer isto com um ferro de soldar; porém, existem máquinas especiais que irão fazê-lo. Uma vez que alguns dos componentes podem ser alterados, o circuito integrado híbrido pode ser consertado se tiver algum defeito, mesmo durante a fabricação.

Uma outra vantagem do circuito híbrido é a facilidade de alteração do circuito. Por exemplo, pode-se acrescentar ou remover um transistor para alterar o circuito. Com um circuito integrado monolítico, não há possibilidade de realizarem-se alterações uma vez que já tenha sido produzido.

Se um circuito integrado monolítico apresentar algum defeito durante a fabricação, é preciso jogá-lo fora. Não é possível consertá-lo.

Como são fabricados os Circuitos Integrados?

A Figura 10-3 mostra um método simplificado para fabricação de um circuito integrado monolítico. As várias etapas para fabricação de um único transistor são indicadas na Figura. Este transistor pode ser parte de um circuito integrado completo. Por exemplo, poderia ser Q_3 no circuito da Figura 10-2. Apesar de indicarmos apenas como um transistor do circuito integrado é produzido, todos os componentes são produzidos de forma semelhante e ao mesmo tempo.

Conforme indicado na Figura 10-3a, o circuito integrado é construído sobre uma lâmina de material isolante chamado *substrato.* A superfície do material é recoberta com uma camada fotossensível. Quando esta camada é exposta à luz e revelada (como um filme fotográfico), a mesma endurece.

O filme (negativo) impede à luz de bater na superfície em certas áreas, porém permite à luz passar através do filme em outras áreas. Durante a exposição à luz, o filme permanece contra a superfície.

A etapa seguinte, conforme indicado na Figura 10-3b, consiste em remover o material fotossensível não exposto à luz. Isto é feito lavando-se a superfície com "spray". Em seguida, na Figura 10-3c, um "spray" ácido remove todo o material de tipo N existente sob a área fotossensível não exposta. Observe que isto deixa uma ilha de material de tipo N.

O bloco é coberto novamente com material fotossensível e, em seguida, um novo filme, ou máscara, é usado para cobrir a lâmina inteira. Isto está indicado na Figura 10-3d. Apenas a área a ser exposta irá receber luz através desta máscara.

Na Figura 10-3e quase toda a superfície foi endurecida por exposição à luz. Apenas uma pequena área na ilha de material N não foi exposta. Um gás do tipo P é então dirigido contra a superfície. Este gás difunde-se dentro da superfície não exposta à luz. Todas as outras áreas são protegidas pelo material fotossensível endurecido.

Na Figura 10-3f, o material fotossensível foi removido. Observe o bloco de material tipo P que está agora na ilha de material N.

Um revestimento de óxido é usado para cobrir toda a área, conforme indicado na Figura 10-3g. Áreas altamente condutoras são adicionadas aos materiais P e N. Conforme indicado na vista lateral (Figura 10-3h), um transistor PNP está agora pronto para fixação dos terminais.

Qual a diferença entre um Circuito Integrado Linear e um Circuito Integrado Digital?

Os circuitos integrados são também classificados em *circuitos integrados lineares* e *circuitos integrados digitais.* Um circuito integrado linear é usado em lugares onde se deseja amplificar sinais sem distorção dos mesmos. Um amplificador de áudio ou um amplificador de rádio-freqüência num sistema de rádio são exemplos de circuitos lineares. Com um circuito integrado linear você sempre tem um sinal de saída que é uma réplica ou tem relação direta com o sinal de entrada. Às vezes os circuitos integrados lineares são chamados circuitos analógicos, porém prefere-se agora o termo *linear.*

Circuitos digitais integrados são usados em circuitos de impulsos e circuitos lógicos. A amplitude do sinal de saída para um circuito integrado digital pode não ter relação direta com o sinal de entrada.

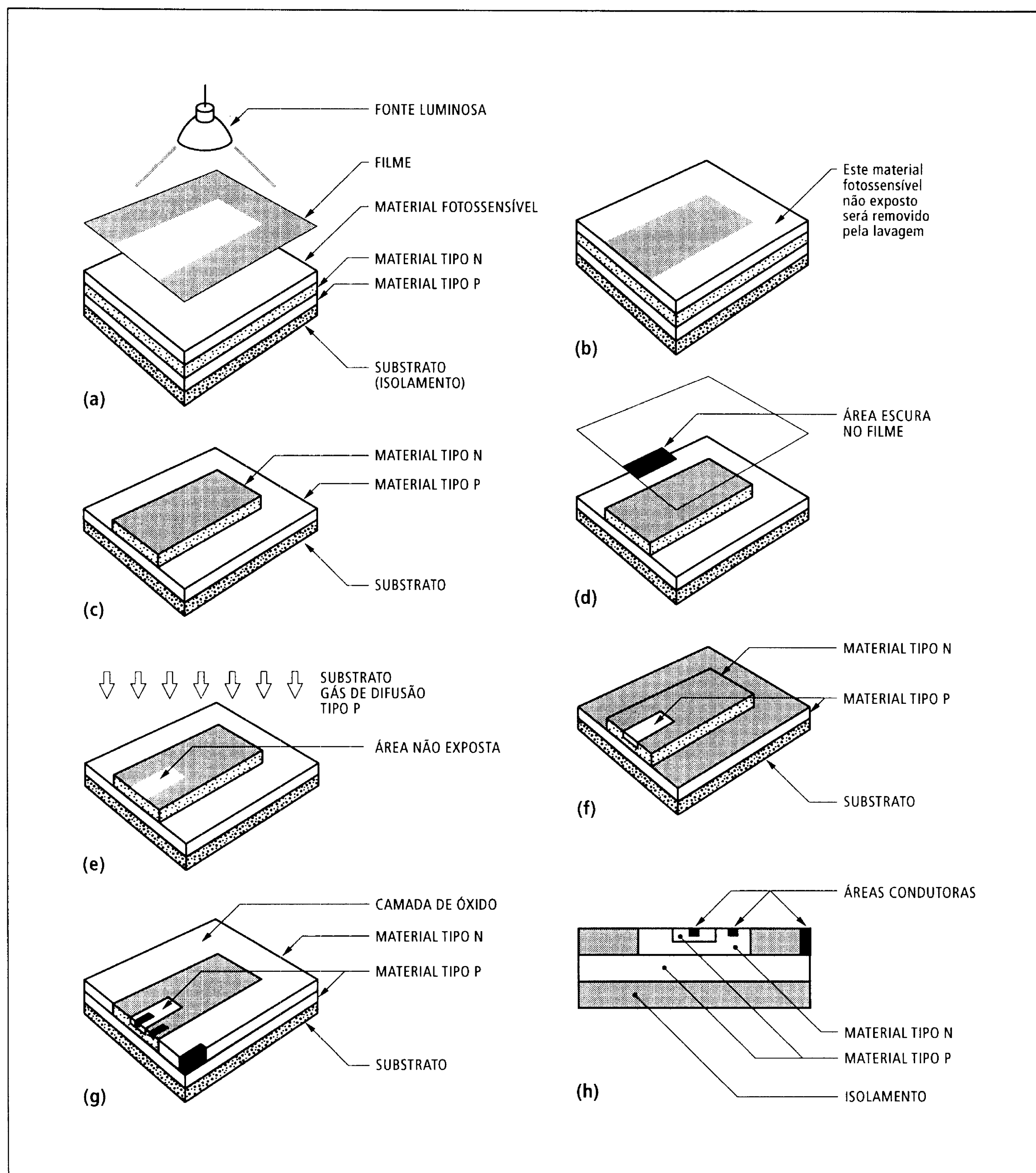


Fig. 10-3: Transistor PNP produzido pelo método de circuito integrado: (**a**) um filme é colocado sobre a superfície. A superfície é, em seguida, exposta á luz; (**b**) a área exposta é endurecida e o resto do material fotossensível é removido; (**c**) um "spray" ácido remove todo o material tipo N não exposto; (**d**) material coberto com material fotossensível é novamente exposto á luz; (**e**) a área não exposta é submetida a difusão com material P. A área escura é uma proteção; (**f**) a área de proteção é removida; (**g**) uma área isolante de óxido é acrescentada. As áreas pretas são de material condutor para acrescentar os terminais; (**h**) a área sombreada lateral é isolamento. As áreas pretas são condutores para fixação dos terminais.

Também pode não haver, às vezes, saída de um circuito integrado digital apesar de haver um sinal de entrada. Circuitos digitais são usados em computadores e em sistemas eletrônicos que controlam máquinas.

Um dos melhores exemplos de circuitos integrados lineares é o *amplificador operacional*. Este é um amplificador de ganho muito alto que pode ser usado para muitas finalidades diferentes em sistemas eletrônicos. O amplificador operacional será discutido na próxima seção.

RESUMO

1. Existem dois tipos de sistemas eletrônicos: analógico e digital.
2. Um sistema analógico produz uma tensão ou uma corrente que depende de uma grandeza de entrada. Existe sempre uma saída para um circuito analógico, toda vez que houver uma entrada.
3. Circuitos digitais produzem leitura em dígitos ou números. Você não precisa interpretar uma saída digital.
4. Um circuito integrado é produzido sobre uma única lâmina de silício. A base de um circuito integrado é chamada *substrato*.
5. Alguns circuitos integrados possuem componentes individuais montados externamente no bloco do circuito integrado. Estes são chamados tipos *híbridos*.
6. Alguns circuitos integrados são feitos de uma única lâmina, sem montagem alguma de componentes adicionais. Estes circuitos integrados são chamados *monolíticos*.
7. Se um circuito integrado possuir menos de 50 componentes ativos, é chamado circuito integrado MSI (do inglês "Medium-Scale-Integrated Circuit"). Se possuir mais de 50 componentes ativos é chamado circuito integrado LSI (do inglês "Large-Scale-Integrated Circuit").

O que é um Amplificador Operacional?

O símbolo para um amplificador operacional está indicado na Figura 10-4. O símbolo mostra dois terminais de entrada – um é chamado *terminal inversor de entrada* e o outro *terminal não-inversor de entrada.* Existe um terminal de saída. O terminal inversor de entrada é sempre marcado com um sinal negativo na entrada do terminal para o amplificador operacional. O terminal positivo indica o terminal não-inversor de entrada. Estes dois terminais de entrada são usados para finalidades diferentes, dependendo do tipo de circuito.

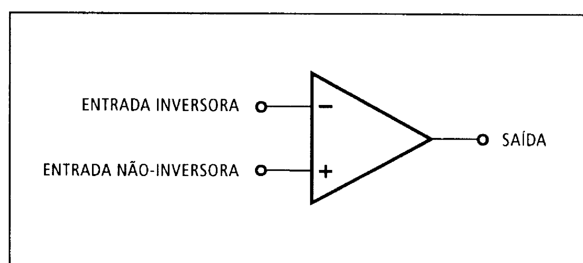


Fig. 10-4: Símbolo para um amplificador operacional.

Obviamente, nem todas as conexões do amplificador operacional estão indicadas no símbolo do mesmo. Você precisa ter também uma tensão contínua para pôr o circuito em operação. Os terminais de entrada para tensão contínua não são indicados normalmente no símbolo do amplificador operacional.

Existem muitas maneiras diferentes de projetar o circuito de um amplificador operacional. Porém, se for um amplificador operacional com ganho extremamente elevado, não importa realmente quais são os componentes usados internamente.

A Figura 10-5 mostra um diagrama de blocos de um amplificador operacional típico. Ele não representa todos os amplificadores operacionais. Conforme mencionado anteriormente, é possível usar muitas construções diferentes de circuitos para obter o alto ganho necessário. A entrada para o amplificador operacional é normalmente para um amplificador diferencial de dois estágios. Dessa forma são obtidos o terminal inversor de entrada e o terminal não-inversor de entrada. Se um sinal for aplicado ao terminal inversor de entrada, o sinal de saída estará defasado em relação ao sinal de entrada. Não há diferença de fase entre os terminais de entrada e de saída, quando o sinal de entrada for aplicado ao terminal não-inversor.

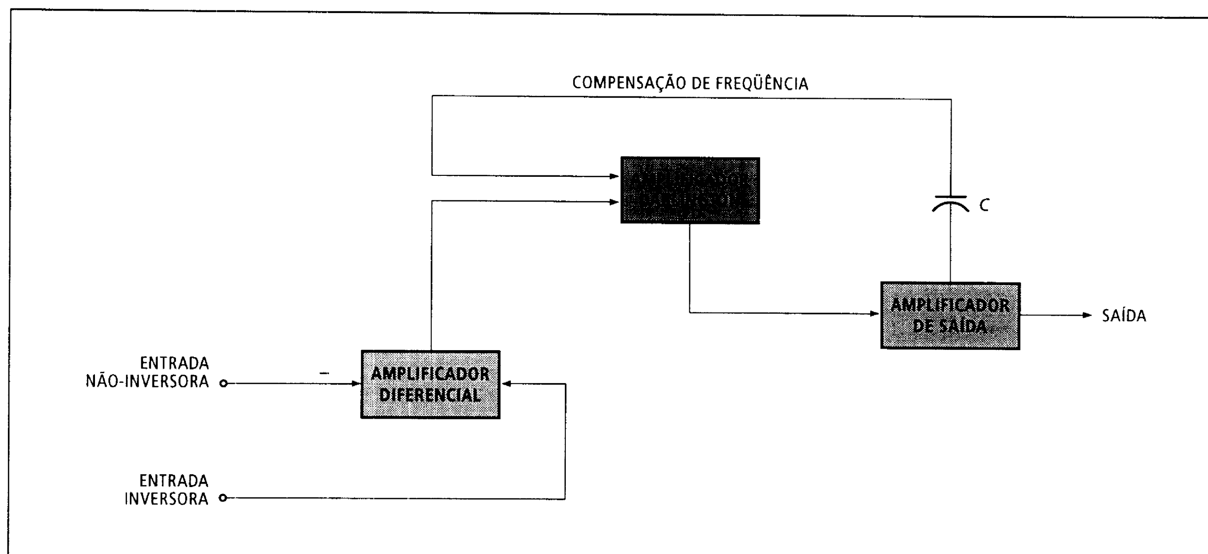
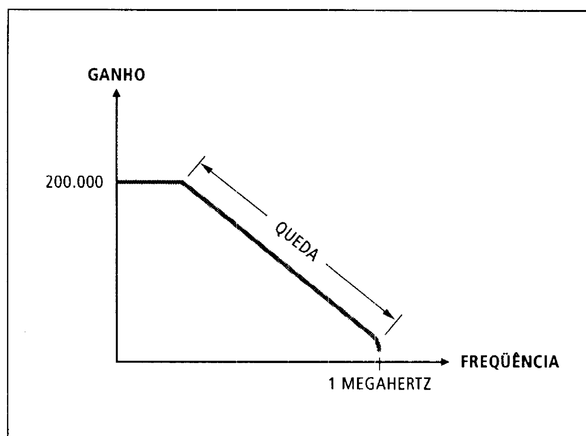


Fig. 10-5: Diagrama de blocos de um amplificador operacional típico.

A saída do amplificador diferencial passa para um amplificador Darlington que produz um ganho muito alto (lembre-se de que um amplificador Darlington é às vezes chamado amplificador beta quadrado (β^2) porque seu ganho é muito grande). O amplificador Darlington fornece o sinal amplificado para um amplificador de saída. O amplificador de saída pode ser chamado também amplificador de potência; mas na verdade, pode fornecer apenas uma quantidade modesta de potência. Não pode ser comparado com os amplificadores de alta potência que você estudou no Capítulo 8.

Fig. 10-6: Resposta em circuito aberto de um amplificador operacional típico.



O que é Compensação de Freqüência nos Amplificadores Operacionais?

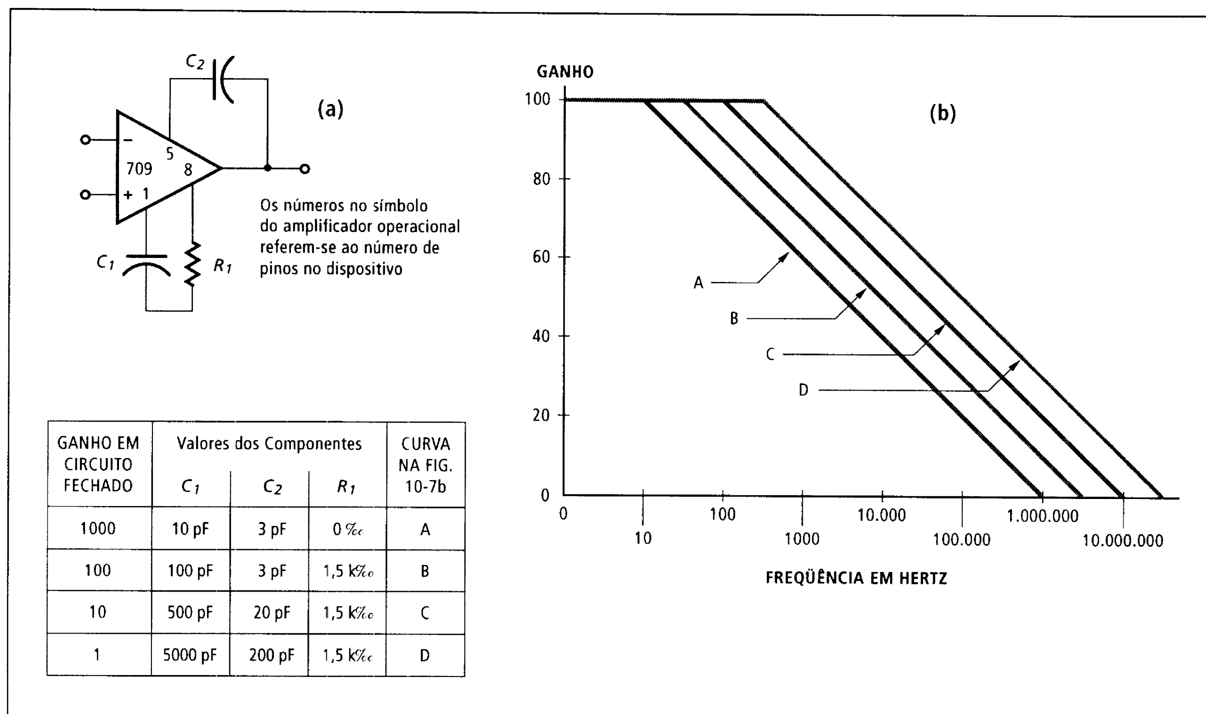
Existe uma linha de realimentação no diagrama de blocos da Figura 10-5. Esta linha de realimentação é chamada *compensação de freqüência.* Determina a resposta de freqüência do amplificador operacional.

O capacitor *C* no circuito de realimentação devolve os sinais de alta freqüência para o amplificador Darlington, porém opõe-se à realimentação das baixas freqüências. O resultado global é que o ganho dos sinais de alta freqüência é diminuído. De fato, a redução em ganho *deve ser produzida em uma taxa fixa para o amplificador operacional.* A taxa de declínio do ganho de alta freqüência é chamada *queda.*

A Figura 10-6 é a resposta de freqüência em circuito aberto de um amplificador operacional típico. Lembre-se de que esta é uma resposta em circuito aberto, ou seja, sem qualquer circuito externo de realimentação ligado.

Nem todos os amplificadores operacionais possuem um circuito interno de compensação de freqüência. Quando é necessária compensação externa, o fabricante irá indicar como o circuito é ligado e irá também fornecer dados mostrando os valores dos componentes necessários para diversos valores de resposta de freqüência.

A Figura 10-7 mostra um amplificador operacional 709. Este tipo deve ser compensado com circuitos exter-

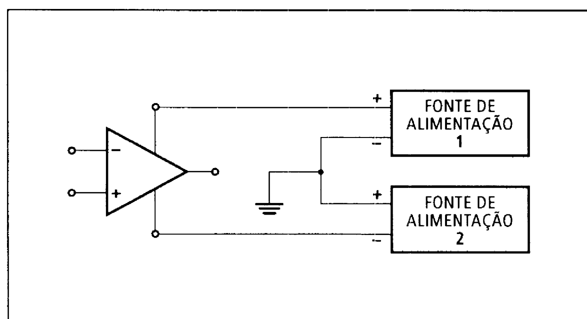


GANHO EM CIRCUITO FECHADO	Valores dos Componentes			CURVA NA FIG. 10-7b
	C_1	C_2	R_1	
1000	10 pF	3 pF	0 %c	A
100	100 pF	3 pF	1,5 k%o	B
10	500 pF	20 pF	1,5 k%o	C
1	5000 pF	200 pF	1,5 k%c	D

Fig. 10-7: Um amplificador operacional 709: (**a**) o amplificador operacional com os circuitos externos; (**b**) curvas diferentes para cada combinação de valores dos componentes.

nos. Conforme indicado na Figura 10-7a, R_1, C_1 e C_2 proporcionam a realimentação para obter a resposta de freqüência desejada. A Figura 10-7b mostra as várias curvas para cada combinação de valores dos componentes. Mais adiante neste capítulo, será demonstrado que a resposta de freqüência em circuito aberto possui um efeito direto sobre o ganho em circuito fechado e sobre a resposta de freqüência do amplificador.

Fig. 10-8: Tensões positiva e negativa obtidas com duas fontes de alimentação.



Que tipo de Circuito de Alimentação é usado com Amplificadores Operacionais?

A maioria dos símbolos para amplificadores operacionais não mostra como são aplicadas as tensões de alimentação. A Figura 10-8 mostra a alimentação normal de um amplificador operacional. Duas fontes de alimentação são usadas: uma para a entrada contínua positiva e a outra para a entrada contínua negativa. Este é o método recomendado para colocar em operação a maioria dos amplificadores operacionais.

Em alguns casos você pode obter as tensões contínuas positiva e negativa necessárias para o amplificador operacional usando um circuito semelhante àquele da Figura 10-9. Aqui é usada apenas uma fonte de alimentação. A saída da fonte de alimentação é ligada sobre dois resistores numa rede com divisor de tensão. Estes resistores são R_1 e R_2,com uma junção no centro (ponto a) ligada à massa. Você não pode ir de uma tensão positiva para uma tensão negativa sem passar pelo zero.

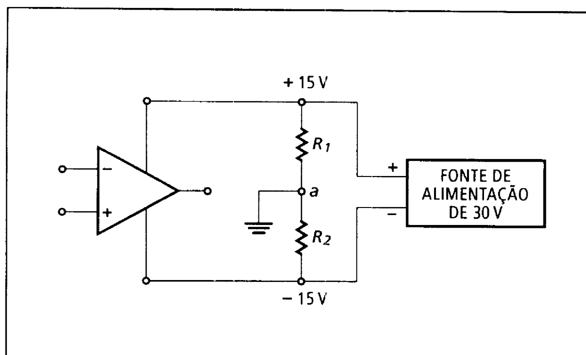


Fig. 10-9: Tensões positiva e negativa obtidas com uma fonte de alimentação.

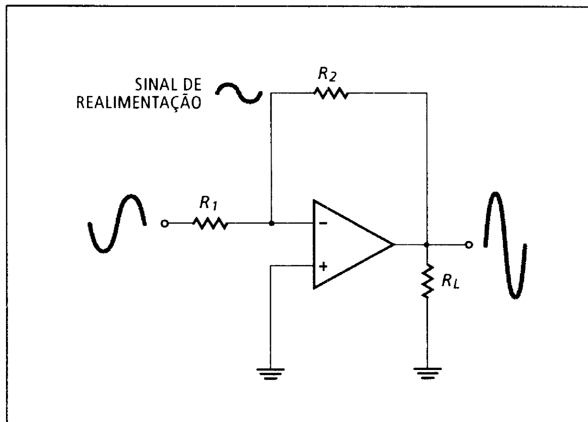
Se R_1 e R_2 tiverem valores iguais, a tensão no ponto *a* deveria ser 0 volt ou a meio caminho entre os valores positivo e negativo.

A fonte de alimentação de 30 volts ligada desta forma proporciona saídas de +15 e -15 volts respectivamente. Observe que as tensões contínuas indicadas são aplicadas ao amplificador operacional em dois terminais, o que não é normalmente indicado no símbolo.

Como é usado um Amplificador Operacional num Circuito Amplificador

A Figura 10-10 mostra um amplificador operacional típico ligado como um amplificador inversor. Observe que os sinais de entrada e de saída estão defasados em 180°. Isto significa que quando o sinal de entrada torna-se positivo, o sinal de saída torna-se negativo e, quando o sinal de entrada torna-se negativo, o sinal de saída torna-se positivo. O resistor R_L é o resistor de carga de saída para o circuito do amplificador operacional. O resistor R_2 é um resistor de realimentação que liga parte do sinal de saída invertido para a entrada do amplificador operacional. Uma vez que parte do sinal de saída é fornecida à entrada e o sinal de saída está defasado em 180°, em relação ao sinal de entrada, o resultado global é uma redução do sinal de entrada.

Fig. 10-10: Amplificador operacional inversor.



RESUMO

1. Um amplificador operacional é um amplificador de alto ganho com dois terminais para sinal de entrada e um terminal para sinal de saída.

2. Quando um sinal é fornecido ao terminal marcado com sinal negativo, o sinal de saída do amplificador será invertido. Em outras palavras, o sinal de saída estará defasado em 180° em relação ao sinal de entrada.

3. Se um sinal for fornecido ao terminal com sinal positivo, o sinal de saída amplificado estará em fase com o sinal de entrada.

4. Algumas das características dos amplificadores operacionais são: ganho muito alto, entrada diferencial e queda linear em função da freqüência.

5. A queda para alguns amplificadores é realizada através de um capacitor interno. Para outros amplificadores operacionais é preciso usar um circuito externo de compensação.

6. Um amplificador operacional é normalmente operado com duas fontes de alimentação: uma positiva e uma negativa. Em alguns casos, porém, pode ser usada uma única fonte de alimentação para a obtenção das tensões contínuas positivas e negativas necessárias.

O que determina o ganho em Circuito Fechado de um Circuito de Amplificador Operacional?

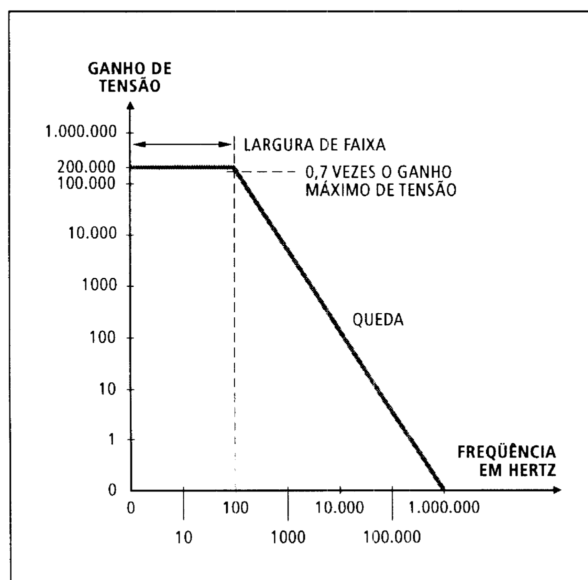
O ganho de tensão do amplificador operacional indicado na Figura 10-10 é aproximadamente igual à relação de R_2 para R_1. Em outras palavras, podemos escrever a equação simples

$$\text{Ganho de tensão} = \frac{R_2}{R_1}$$

Se o sinal for negativo isso indica que a saída é invertida. A resistência de carga R_2 não afeta normalmente o ganho do circuito do amplificador operacional com a condição de que sua resistência seja suficientemente elevada de modo a não "tirar" uma corrente elevada do amplificador.

A equação do ganho de tensão mostra que é bastante simples projetar um circuito de amplificador operacional para obter qualquer ganho que desejar. Porém, existe uma dependência muito importante entre o ganho do amplificador operacional e sua largura de faixa. Você pode entender esta dependência referindo-se às seguintes curvas de resposta. A Figura 10-11 mostra a curva de resposta em circuito aberto de um amplificador operacional. O circuito da Figura 10-10 poderia ser usado para obter esta curva de resposta se fossem removidos os resistores R_1 e R_2. A curva mostra que o ganho em circuito aberto é de 200.000. Isto significa que a tensão do sinal de entrada seria amplificada 200.000 vezes na saída se não houvesse um resistor de realimentação.

Fig. 10-11: Resposta de freqüência de um amplificador operacional usado sem realimentação.



A *largura de faixa* de um amplificador é a faixa de freqüências entre os pontos onde o ganho de tensão cai para 0,7 vezes o ganho máximo. Na curva de resposta da Figura 10-12, a linha escura mostra a largura da faixa. Neste caso, o ganho cai tanto nas baixas como nas altas freqüências.

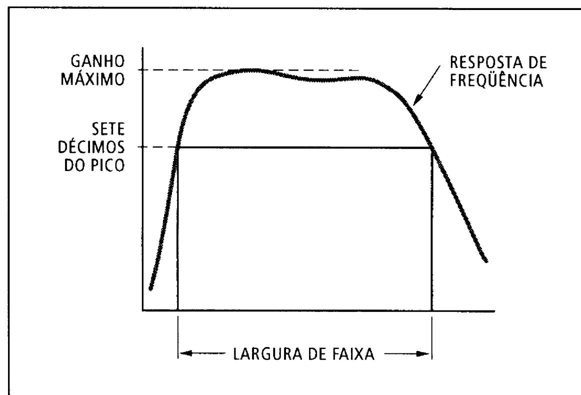


Fig. 10-12: Resposta de freqüência e largura de faixa de um amplificador.

O ganho do amplificador operacional não cai nas baixas freqüências de modo que a largura da faixa é medida de 0 hertz até o ponto onde o ganho cai para 0,7 vezes o valor máximo, para cada amplificador. A largura de faixa do amplificador operacional é estreita quando o mesmo for operado em circuito aberto. A linha pontilhada na curva da Figura 10-11 mostra a largura de faixa. Apesar de haver ainda muito ganho além do ponto onde a largura da faixa é marcada, a largura da faixa – por definição – é ainda considerada somente até o ponto onde o ganho diminui para 0,7 vezes seu valor máximo.

A Figura 10-13 mostra a resposta do amplificador operacional quando é usado com R_1 e R_2. Uma vez que é uma situação de realimentação negativa, o resultado é uma redução do ganho para um valor de 10. Isto é o ganho máximo. A largura de faixa está indicada com uma linha pontilhada.

A Figura 10-14 mostra a resposta do amplificador operacional com um ganho de 5. O ganho foi reduzido, porém a largura da faixa foi aumentada.

Da ilustração da Figura 10-14 você pode ver que, se escolheu uma ampla largura de faixa para seu amplificador, terá que se contentar com um ganho inferior. Isto acontece para todos os amplificadores e *não apenas para os amplificadores operacionais.*

Problema: Usando um amplificador operacional com a curva da Figura 10-11, projetar um amplificador com ganho de 1.000. Quais são os valores necessários de R_1 e R_2? Qual é a largura de faixa do circuito?

Solução: O ganho é determinado por R_2/R_1. Para um ganho de 1.000, R_2/R_1 = 1.000. O procedimento normal consiste em assumir um valor da resistência de entrada R_1 e, em seguida, achar o valor correspondente da resistência de realimentação R_2. A resistência de entrada geralmente tem um valor entre 1.000 ohms e 5.000 ohms, apesar de que outros valores são possíveis. Vamos supor que R_1 = 1.500 ohms (1,5 kilohm). Então,

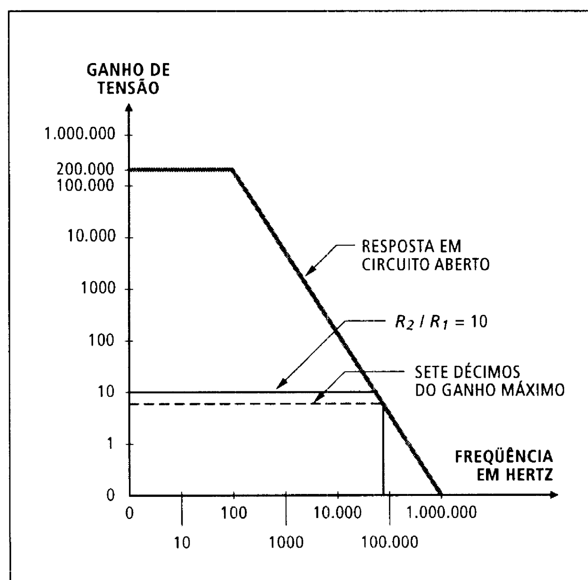
$$\frac{R_2}{R_1}$$

substituindo R_1 por 1.500,

$$\frac{R_2}{1.500} = \mathbf{1.000}$$

Existe uma regra básica de matemática que diz que você pode multiplicar ambos os lados de uma equação pelo mesmo valor.

Fig. 10-13: Resposta de freqüência de um amplificador operacional. O circuito de realimentação proporciona um ganho de 10.



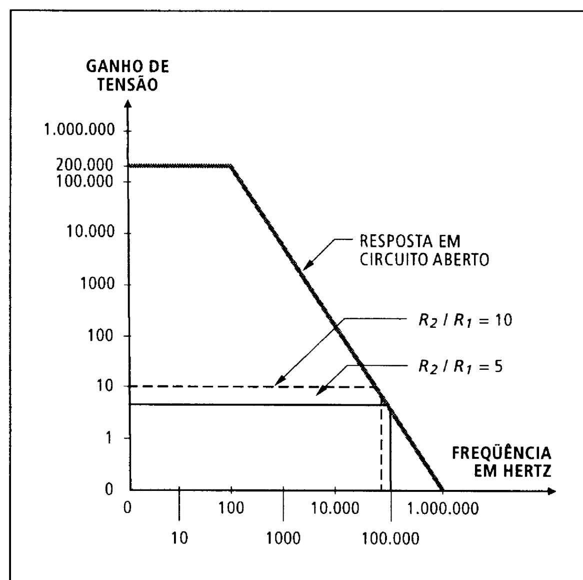


Fig. 10-14: Comparação da resposta de freqüência para um ganho de 10 e um ganho de 5.

Vamos, então, multiplicar ambos os lados da equação anterior por 1.500 para eliminar o denominador.

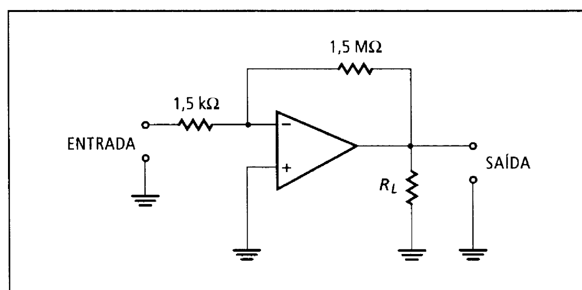
$$\cancel{1.500} \times \frac{R_2}{\cancel{1.500}} = 1.000 \times 1.500$$

Os valores 1.500 se anulam e você obterá:

$$R_2 = 1.000 \times 1.500$$
$$= 1.500.000$$
$$\text{ou } R_2 = 1{,}5 \text{ megohms}$$

A Figura 10-15 mostra o circuito do amplificador operacional para um ganho de 1.000.

Fig. 10-15: Circuito de amplificador operacional com ganho de 1.000.



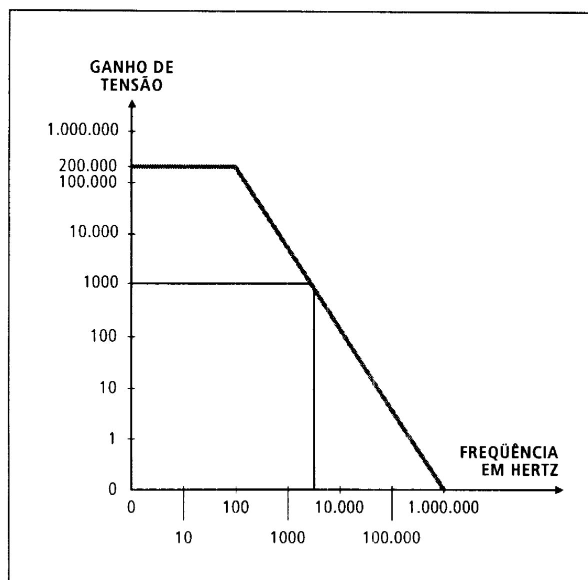
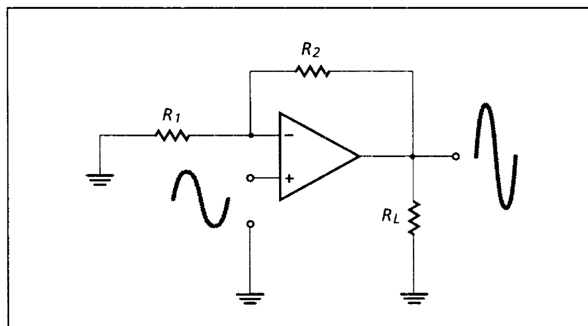


Fig. 10-16: Resposta de freqüência de um amplificador operacional com ganho de 1.000.

A Figura 10-16 mostra que a largura de faixa, que é medida até o ponto onde o ganho cai para 0,7 vezes seu valor máximo, situa-se aproximadamente no meio da faixa entre 1.000 e 10.000 hertz. Isto seria aproximadamente 3.000 hertz. O amplificador não seria adequado para ser utilizado em áudio de alta fidelidade, mas poderia funcionar muito bem como intercomunicador. (Um intercomunicador é um sistema amplificador que permite falar com pessoas em outros locais e permite que elas falem com você.)

O valor de R_1 no circuito da Figura 10-11 não é crítico. O fabricante do amplificador operacional pode estabelecer um valor mínimo para o circuito de modo a não tirar muita corrente do mesmo.

Fig. 10-17: Amplificador operacional não-inversor.



Como é usado o Amplificador Operacional como Amplificador Não-Inversor?

A Figura 10-17 mostra como um amplificador operacional pode ser ligado para proporcionar uma saída não-invertida. O terminal do sinal de entrada é ligado com o terminal marcado com o sinal de mais (+). O sinal de saída está exatamente em fase com o sinal de entrada, porém tem amplitude maior. O ganho deste amplificador não-inversor é ainda determinado pela rede de realimentação que inclui R_2 e R_1. Para todos os fins práticos, o ganho dos amplificadores inversor e não-inversor é o mesmo sob a maioria das condições possíveis. Matematicamente, o ganho do amplificador não-inversor é fornecido pela equação

$$\text{Ganho de tensão} = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

Se R_2 for grande em comparação com R_1 esta equação é aproximadamente R_2/R_1. As equações de ganho fornecidas para amplificadores inversores e não-inversores são, ambas, versões simplificadas de equações mais complexas. Pode ser demonstrado que estas equações são suficientemente precisas para a maioria das aplicações.

Como é usado um Amplificador Operacional como Seguidor de Tensão?

No seu estudo de amplificadores de tensão, você aprendeu que um amplificador pode ser ligado numa configuração de seguimento. Exemplos disto são: seguidor de cátodo, seguidor de emissor e seguidor de fonte.

A Figura 10-18 mostra um transistor NPN ligado como seguidor de emissor. O sinal de entrada é fornecido para a base e o sinal de saída é medido no emissor. Este tipo de amplificador possui alta impedância de entrada e baixa impedância de saída. A impedância de saída é aproximadamente igual à resistência do emissor. Não há inversão de fase em qualquer circuito de seguimento.

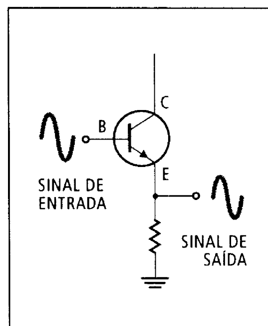


Fig. 10-18: Seguidor de emissor.

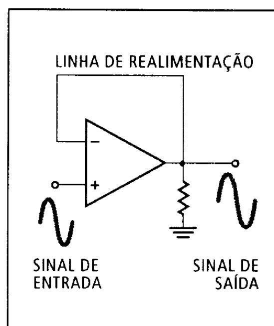


Fig. 10-19: Seguidor de tensão de um amplificador operacional

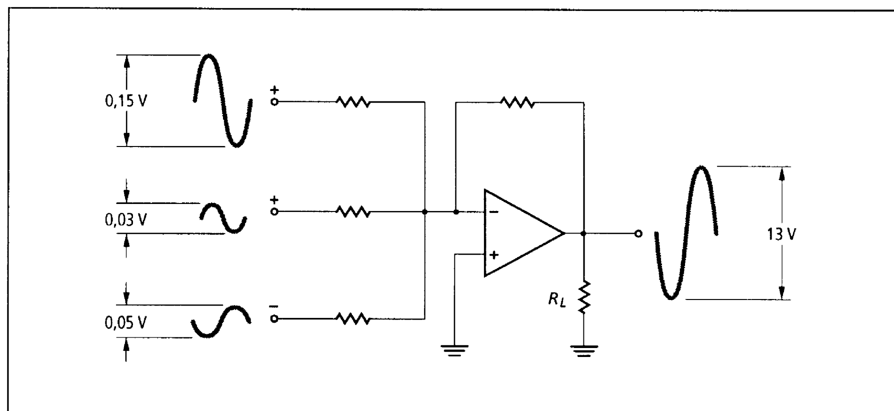


Fig. 10-21: Amplificador somador usado para resolver o problema 15 + 3 - 5 = 13.

A Figura 10-19 mostra como um amplificador operacional pode ser ligado para funcionar como seguidor de emissor. O ganho de um seguidor de emissor, se for um circuito ideal, é aproximadamente igual a 1. Em nenhum caso o ganho pode ser superior a 1, por causa da ação regenerativa da linha de realimentação.

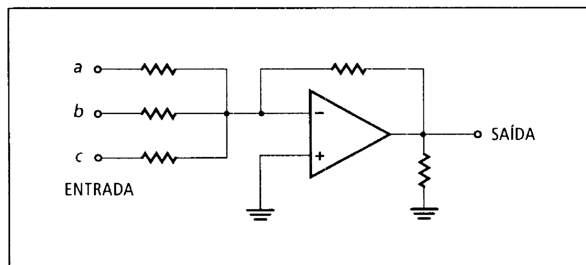
Alguns outros tipos de Circuitos de Amplificadores Operacionais

Uma das razões da grande popularidade do amplificador operacional é porque é fácil projetar um circuito amplificador. Tudo que se tem a fazer é escolher o ganho e a largura de faixa desejados, lembrando que é sempre necessário estabelecer uma dependência entre os mesmos.

Uma outra razão para a popularidade do amplificador operacional é o fato dele poder ser usado numa ampla variedade de circuitos. Alguns dos muitos exemplos serão discutidos aqui.

O circuito da Figura 10-20 é chamado *amplificador somador*. O sinal de saída é igual à soma dos sinais de entrada. Este circuito pode ser usado para realizar adição e subtração básicas. Para fazer o circuito realizar uma subtração de um número – chamado *subtraendo* – que é representado por um sinal que está defasado em 180°, em relação ao número do qual está sendo subtraído – chamado *minuendo*. A Figura 10-21 mostra um problema de adição e subtração básicas em conjunto com a tensão usada na entrada do comparador e a tensão de saída que representa a resposta.

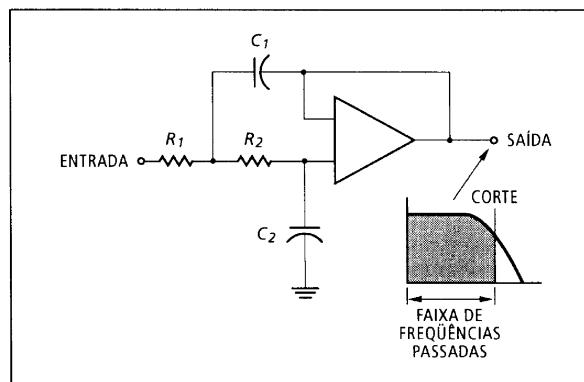
Fig. 10-20: Amplificador somador básico.



O sinal de saída pode ser maior que 0,13 volt devido ao ganho do amplificador operacional. Assim, se o ganho for de 100, a tensão de saída seria de 13 volts, de modo que a resposta pode ser lida diretamente do voltímetro. Apenas a magnitude da tensão alternada na saída é usada para a resposta, de modo que o fato de a tensão estar defasada em 180° em relação às tensões positivas de entrada possa ser desconsiderado.

A Figura 10-22 mostra o circuito que funciona como filtro de passagem de baixas freqüências. Todas as

Fig. 10-22: O amplificador operacional usado como filtro de passagem de baixas freqüências.



freqüências acima do ponto de corte são reduzidas ou *atenuadas*. O ponto de corte é considerado o ponto onde a amplitude cai para 0,7 vezes o valor máximo.

O amplificador operacional pode ser usado como *filtro de passagem de altas freqüências,* que irá deixar passar todas as freqüências acima do ponto de corte. Pode também ser usado como filtro de passagem de faixa para deixar passar apenas uma faixa estreita de freqüências ou como filtro de rejeição de faixa, para rejeitar uma faixa estreita de freqüências.

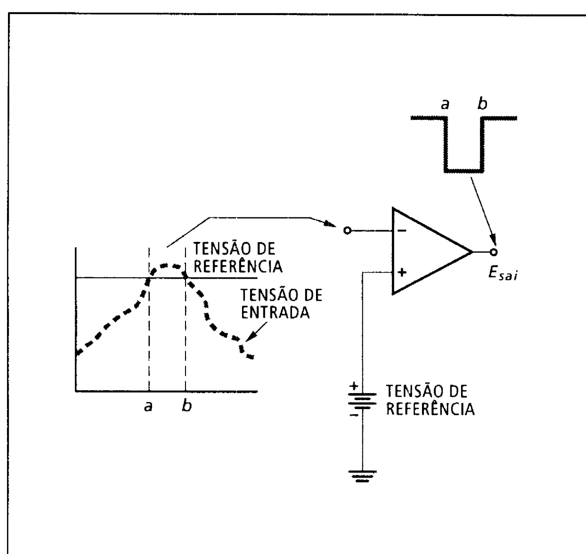


Fig. 10-23: Toda vez que a tensão de entrada subir acima da tensão de referência, a tensão de saída passa para um valor mais baixo.

A Figura 10-23 mostra como um amplificador operacional pode ser usado como *comparador.* Quando a tensão de entrada for inferior à tensão de referência, a saída do amplificador operacional é elevada. Quando a tensão de entrada for maior que a tensão de referência, a tensão do amplificador operacional é diminuída.

Os fabricantes de componentes eletrônicos produzem também comparadores especiais que irão chavear mais rapidamente; porém, o amplificador operacional pode ser usado nos casos onde o tempo de chaveamento não é importante.

A Figura 10-24 mostra um dos muitos circuitos osciladores que você pode obter com um amplificador operacional. Este oscilador produz um sinal de saída com onda quadrada. Outros osciladores irão produzir uma onda senoidal, impulsos ou qualquer outro formato de onda de oscilador.

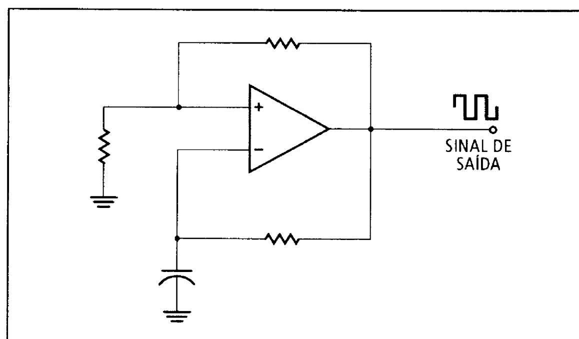


Fig. 10-24: Circuito de um oscilador com amplificador operacional.

RESUMO

1. O ganho de tensão de um amplificador operacional usado como amplificador inversor é igual à relação entre o resistor de realimentação e o resistor de entrada. Assim:

   $$\text{Ganho de tensão} = \frac{R_2}{R_1}$$

2. O sinal negativo na equação de ganho de tensão significa que a tensão de saída está defasada em 180°, em relação à tensão de entrada.
3. A largura de faixa é medida até o ponto onde o ganho cai para 0,7 vezes o valor máximo de ganho.
4. Existe sempre uma dependência entre a largura de faixa e o ganho em todos os amplificadores.
5. Quando um amplificador operacional é usado como amplificador não-inversor, seu ganho de tensão é fornecido pela equação

   $$\text{Ganho de tensão} = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

6. Um amplificador operacional pode ser usado como seguidor de tensão. Este circuito possui alta impedância de entrada, baixa impedância de saída, ampla largura de faixa e ganho de tensão de aproximadamente 1,0.
7. Amplificadores operacionais podem ser usados em muitas aplicações como: amplificadores somadores, seguidores e comparadores.

PERGUNTAS DE REVISÃO PROGRAMADA

(As instruções para o uso desta seção de revisão programada são fornecidas no Capítulo 1 / pág. 8.)

Iremos rever aqui os conceitos importantes deste capítulo. Se você entendeu o material, poderá progredir facilmente por meio desta seção. Não pule este material porque apresentamos aqui algumas informações teóricas adicionais.

1 **Na Figura 10-25 o ganho aproximado de tensão do circuito amplificador é de aproximadamente:**

[A] **2** (passe para o item 9).
[B] **1** (passe para o item 17).

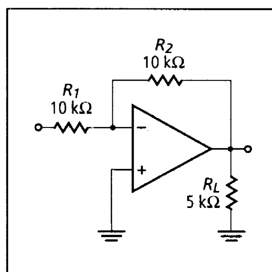


Fig. 10-25: Qual é o ganho deste amplificador operacional?

2 *A resposta correta para a pergunta no item 17 é A. Para obter esta resposta, achar o valor de ganho do ponto 100 sobre o eixo vertical. Encontrar sete décimos deste valor, ou seja, 70. Deslocar-se para a direita, partindo do ponto 70 até tocar o gráfico e, em seguida, deslocar-se para baixo, até encontrar o valor da freqüência. Você irá obter um valor de aproximadamente 20.000 hertz. A largura da faixa é superior a 10.000 hertz porque é sempre medida até o ponto onde o ganho de tensão cai para cerca de sete décimos do máximo.* Aqui está a próxima pergunta:

A maior taxa de mudança da tensão de saída do amplificador é chamada:

[A] **Taxa de reação** (passe para o item 20).
[B] **Modulação** (passe para o item 8).

3 *Se sua resposta para a pergunta no item 20 é B, está errada. Não existe qualquer gráfico Smith usado para gráficos de freqüência e ganho de amplificadores operacionais.*
Passe para o item 13.

4 *A resposta correta para a pergunta no item 23 é B. O substrato é geralmente feito de silício. É a base para o circuito integrado.* Aqui está a próxima pergunta:

Uma característica importante dos amplificadores operacionais é a queda atenuada. Isto se refere:

[A] **A taxa de diminuição do ganho com o aumento da freqüência** (passe para o item 21).
[B] **A taxa de diminuição da tensão sobre a carga com a diminuição da tensão de entrada** (passe para o item 26).

5 *Se sua resposta para a pergunta no item 21 é B, está errada. Um ganho em circuito aberto de 175 é baixo demais para a maioria dos circuitos de amplificadores operacionais.*
Passe para o item 10.

6 *A resposta correta para a pergunta no item 18 é B. O coeficiente de temperatura indica como variam os parâmetros do amplificador operacional em função da temperatura. Um coeficiente de temperatura com valor alto, indica que uma pequena variação na temperatura alterará as características do circuito.*

O amplificador ideal é o que não se altera com a temperatura. Aqui está a próxima pergunta:

Qual dos seguintes encapsulamentos é popular para circuitos integrados?

[A] **DIP** (passe para o item 23).
[B] **DUP** (passe para o item 15).

7 *Se sua resposta para a pergunta no item 24 é A, está errada. A resposta de freqüência e a largura da faixa referem-se à faixa de freqüências que podem ser amplificadas por um determinado amplificador. Quanto maior for a resposta de freqüência, maior será a largura da faixa. Não há dependência alguma entre os dois.*
Passe para o item 14.

8 *Se sua resposta para a pergunta no item 2 é B, está errada. A taxa máxima de mudança da tensão de saída do amplificador operacional não é chamada taxa de reação.* Passe para o item 20.

9 *Se sua resposta para a pergunta no item 1 é A, está errada. O ganho está diretamente relacionado com a relação R_2/R_1.* Passe para o item 17.

10 *A resposta correta para a pergunta no item 21 é A. Muitos amplificadores operacionais possuem um ganho em circuito aberto de 1 milhão. Outros proporcionam valores de ganho de apenas 20.000.* Aqui está a próxima pergunta.

Em qual dos circuitos abaixo você poderia usar um circuito integrado linear:

A **Um circuito amplificador** (passe para o item 24).

B **Uma rede de ligação** (passe para o item 19).

11 *Se sua resposta para a pergunta no item 23 é A, está errada. O subtraendo é o número que você subtrai de um outro número, conforme indicado aqui:*

153	minuendo
– 26	subtraendo
127	resto ou diferença

Passe para o item 4.

12 *Se sua resposta para a pergunta no item 18 é A, está errada. O coeficiente de temperatura mostra como variam os parâmetros quando a temperatura de trabalho muda* . Passe para o item 6.

13 *A resposta correta para a pergunta no item 20 é A. O gráfico de Bode para amplificador operacional é útil no projeto de um amplificador com determinado ganho ou largura de faixa. Você não deve imaginar que os gráficos de Bode são usados somente com amplificadores operacionais. Na verdade, são usados para todos os tipos de circuitos amplificadores.*
Aqui está a próxima pergunta:

Um sinal de onda senoidal é aplicado ao mesmo tempo ao terminal inversor e ao terminal não-inversor de entrada. A saída do amplificador operacional deve ser:

A **O dobro do que se o sinal fosse aplicado a apenas um dos terminais de entrada** (passe para o item 25).

B **Ausência de sinal** (passe para o item 8).

14 *A resposta correta para a pergunta no item 24 é B. Tudo o que você fizer para aumentar a largura da faixa irá automaticamente reduzir o ganho. O produto da largura da faixa e do ganho é um valor constante que é chamado produto ganho x largura da faixa (GLF).* Matematicamente,

$$\text{GLF} = \text{ganho} \times \text{largura de faixa}$$

ou

$$\text{ganho} = \frac{\text{GLF}}{\text{largura de faixa}}$$

Desta simples equação você pode deduzir que um aumento da largura da faixa irá resultar numa redução de ganho. Da mesma forma, uma redução na largura da faixa irá resultar num aumento do ganho. Aqui está a próxima pergunta:

Nos terminais de entrada de um amplificador operacional os sinais + e – indicam:

A **Onde devem ser aplicadas as tensões positiva e negativa da fonte de alimentação** (passe para o item 22).

B **Qual terminal é entrada inversora e qual é a entrada não-inversora** (passe para o item 16).

15 *Se sua resposta para a pergunta no item 6 é B. está errada. Não existe qualquer encapsulamento DUP para circuitos integrados.*
Passe para o item 23.

16 *A resposta correta para a pergunta no item 14 é B. Quando um sinal é fornecido ao terminal de entrada marcado com um sinal "menos", o sinal amplificado de saída estará defasado em 180° em relação ao sinal de entrada. Isto significa simplesmente que, quando o sinal de entrada estiver em alternância positiva, o sinal de saída estará em alternância negativa. Da mesma forma, quando o sinal de entrada estiver em alternância*

negativa, o sinal de saída estará em alternância positiva. Aqui está a próxima pergunta:

Pode o amplificador operacional ser operado por uma única fonte de alimentação?

....**Sim ou Não**

Passe para o item 28.

17 *A resposta correta para a pergunta no item 1 é B. O ganho aproximado da tensão A_v do circuito na Figura 10-25 é determinado como segue:*

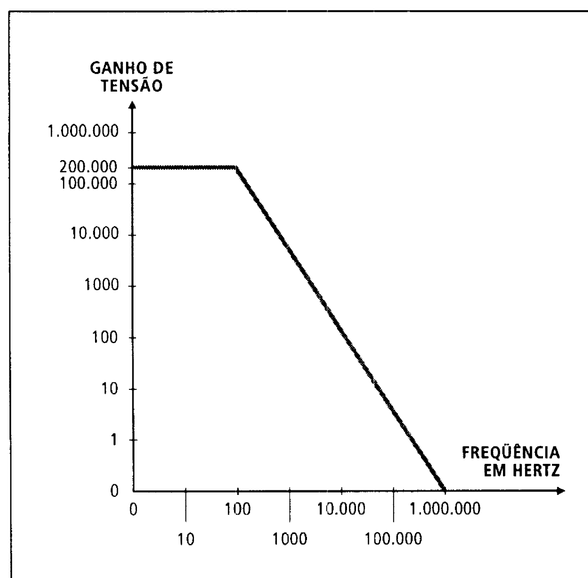
$$A_v = \frac{R_2}{R_1} = \frac{10 \text{ kilohms}}{10 \text{ kilohms}} = 1$$

Aqui está a próxima pergunta:

Se um amplificador operacional possui a curva característica representada na Figura 10-26, qual largura da faixa será obtida com um ganho de 100 do amplificador?

[A] **Cerca de 20.000 hertz** (passe para o item 27).
[B] **Cerca de 100 hertz** (passe para o item 27).

Fig. 10-26: Qual é a largura da faixa que seria obtida com um ganho de 100 do amplificador?



18 *A resposta correta para a pergunta no item 13 é B. A taxa de rejeição de sinais comuns de um amplificador operacional deve ser elevada. Isto significa que o amplificador operacional irá rejeitar qualquer sinal que seja comum a ambos os terminais.* Aqui está a próxima pergunta:

Uma companhia que fabrica um certo amplificador operacional diz que o mesmo tem coeficiente de temperatura nulo. Qual das seguintes proposições está certa?

[A] **Isto é uma desvantagem. Significa que o amplificador operacional não pode sustentar um aumento de temperatura, mesmo durante um curto período de tempo** (passe para o item 12).
[B] **Isto é uma vantagem. Significa que o amplificador operacional não variará suas características com um aumento em sua temperatura** (passe para o item 6).

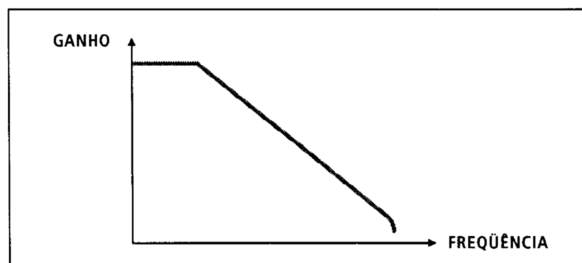
19 *Se sua resposta para a pergunta no item 10 é B, está errada. Numa rede de ligação, o sinal de saída não é amplificado. Por outro lado, a saída está em condição LIGA ou DESLIGA, porém não existe condição intermediária.*
Passe para o item 24.

20 *A resposta correta para a pergunta no item 2 é A. A taxa de reação de um amplificador operacional é geralmente medida em volts por microssegundo.* Aqui está a próxima pergunta:

O gráfico de ganho do amplificador em função da freqüência, como aquele indicado na Figura 10-27 é chamado:

[A] **Gráfico de Bode** (passe para o item 13).
[B] **Gráfico de Smith** (passe para o item 3).

Fig. 10-27: Que tipo de gráfico é esse?



21 *A resposta correta para a pergunta no item 4 é A. Um gráfico de ganho versus freqüência é chamado gráfico de Bode. O gráfico de Bode da resposta de um amplificador Bode, mostra claramente a atenuação do ganho*
Aqui está a próxima pergunta:

Qual dos seguintes valores é um valor típico de ganho em circuito aberto para um amplificador operacional?

[A] **200.000** (passe para o item 10).
[B] **175** (passe para o item 5).

22 *Se sua resposta para a pergunta no item 14 é A, está errada. O símbolo de um amplificador operacional não mostra geralmente conexões para fontes de alimentação. Os sinais + e – não são usados para determinar as polaridades das conexões das fontes de alimentação.*
Passe para o item 16.

23 *A resposta correta para a pergunta no item 6 é A. As letras DIP (do inglês "Dual Inline Package") significam "encapsulamento duplo em linha" (veja Figura 10-2).* Aqui está a próxima pergunta:

A palavra *monolítico* significa "uma pedra". Um circuito integrado é monolítico porque é construído sobre *uma lâmina de silício*. A base do circuito integrado é chamada:

[A] **Subtraendo** (passe para o item 11).
[B] **Substrato** (passe para o item 4).

24 *A resposta correta para a pergunta no item 10 é A. A saída de um amplificador de áudio é uma versão amplificada do sinal de entrada. Isto é característico em circuitos lineares.* Aqui está a próxima pergunta:

Quais dos seguintes elementos são dependentes entre si no projeto de um circuito de amplificador operacional?

[A] **Resposta de freqüência e largura da faixa** (passe para o item 7).
[B] **Resposta de freqüência e ganho** (passe para o item 14).

25 *Se sua resposta para a pergunta no item 13 é A, está errada. Não deve haver sinal algum de saída quando um sinal for amplificado ao mesmo tempo no terminal inversor e no terminal não-inversor.*
Passe para o item 18.

26 *Se sua resposta para a pergunta do item 4 é B, está errada. A taxa de diminuição da tensão de saída quando a tensão de entrada diminui está diretamente relacionada com a resposta de freqüência do amplificador, porém isto não é chamado atenuação de ganho.* Passe para o item 21.

27 *Se sua resposta para a pergunta no item 17 é B, está errada. Achar o valor de ganho 100 no eixo vertical. Qual é a freqüência do amplificador quando o ganho é 100? Estas questões serão respondidas no item 2.* Passe para o item 2.

28 *Sim. Um amplificador operacional pode ser operado com uma única fonte de alimentação na maioria dos casos, porém isto não é uma maneira recomendada de operar. O fabricante recomenda o uso de fontes de alimentação separadas. Os valores de +15 volts e –15 volts são valores típicos para os terminais positivo e negativo das fontes de alimentação.*

Você completou agora as perguntas de revisão programada. O próximo passo é pôr algumas destas idéias em prática em experiências de laboratório.

EXPERIÊNCIAS

(As experiências descritas nesta seção podem ser realizadas na placa de circuitos descrita no Anexo C ou numa montagem de laboratório similar.)

■ FINALIDADE

Esta experiência ensina você a ligar um amplificador operacional num circuito.

■ TEORIA

Um oscilador é um amplificador de alto ganho em realimentação regenerativa.

A Figura 10-28 mostra o circuito oscilador básico usado nesta experiência. Observe que o circuito de realimentação (R_1 e R_2) devolve o sinal de saída para a entrada não-inversora do amplificador. Como você pôde verificar quando leu sobre os circuitos osciladores do Capítulo 9, a oscilação ocorre quando o sinal de saída de um amplificador é devolvido para o terminal de entrada em fase com o sinal de entrada. No terminal não-inversor de entrada dos sinais, os sinais de entrada e de saída estão em fase.

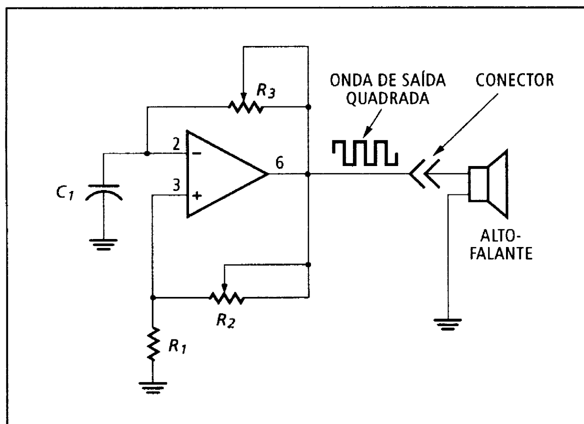


Fig. 10-28: Circuito básico de um oscilador com amplificador operacional.

Quando o circuito é energizado pela primeira vez, a tensão de saída (no pino 6) aumenta. Esta tensão positiva crescente passa para o pino 3 onde é amplificada. A saída no pino 6 torna-se mais positiva ainda, à medida que é amplificada, e o amplificador operacional entra muito rapidamente em saturação. Se um amplificador for saturado, sua saída não pode mais mudar. O capacitor C_1 começa a carregar-se para a tensão positiva de saída. A tensão no pino 2 aumenta com o capacitor carregado.

Quando a tensão sobre o capacitor no pino 2 torna-se mais positiva que a tensão no pino 3, a saída do amplificador operacional torna-se negativa muito rapidamente. Então, C_1 começa a descarregar. Quando a tensão do capacitor for inferior à tensão no pino 3, a saída torna-se novamente positiva.

O resultado global é que a tensão de saída é uma onda quadrada. Isto está indicado na ilustração. A onda quadrada produz som no alto-falante. O oscilador é chamado *um multiplicador* porque sua saída é uma onda quadrada e sua freqüência depende da taxa de carga e descarga de um capacitor.

■ MONTAGEM DO TESTE

A Figura 10-29 mostra a montagem do teste. A Figura 10-29a mostra o diagrama esquemático e a Figura 10-29b mostra as ligações em desenho chapeado. Este circuito consiste em uma única fonte de alimentação como aquela indicada na Figura 10-9, exceto pelo fato de o valor da tensão ser diferente e um amplificador operacional semelhante àquele indicado na Figura 10-28 estar sendo usado. (741)

■ PROCEDIMENTO

☐ *Etapa 1:* Efetuar as ligações do circuito, conforme indicado na Figura 10-29. O amplificador operacional deve oscilar e a saída no alto-falante deve ser um som de áudio.

☐ *Etapa 2:* Ajustar R_2 e R_3 para o meio da escala.

☐ *Etapa 3:* Medir a tensão positiva e negativa da fonte de alimentação com relação à terra. Anotar os valores aqui.

.... **volts**

.... **volts**

A tensão de alimentação deve ser de cerca de 4,5 volts positivos e cerca de 4,5 volts negativos para um total de cerca de 9 volts entre o terminal positivo e o terminal negativo. Se a tensão for muito menor que esta, o amplificador operacional pode não funcionar corretamente.

☐ *Etapa 4:* Há um som de áudio no alto-falante?

.... **Sim ou Não**

A resposta deve ser sim.

☐ *Etapa 5:* Ajustar R_2. Qual é o efeito disto sobre a saída?

....

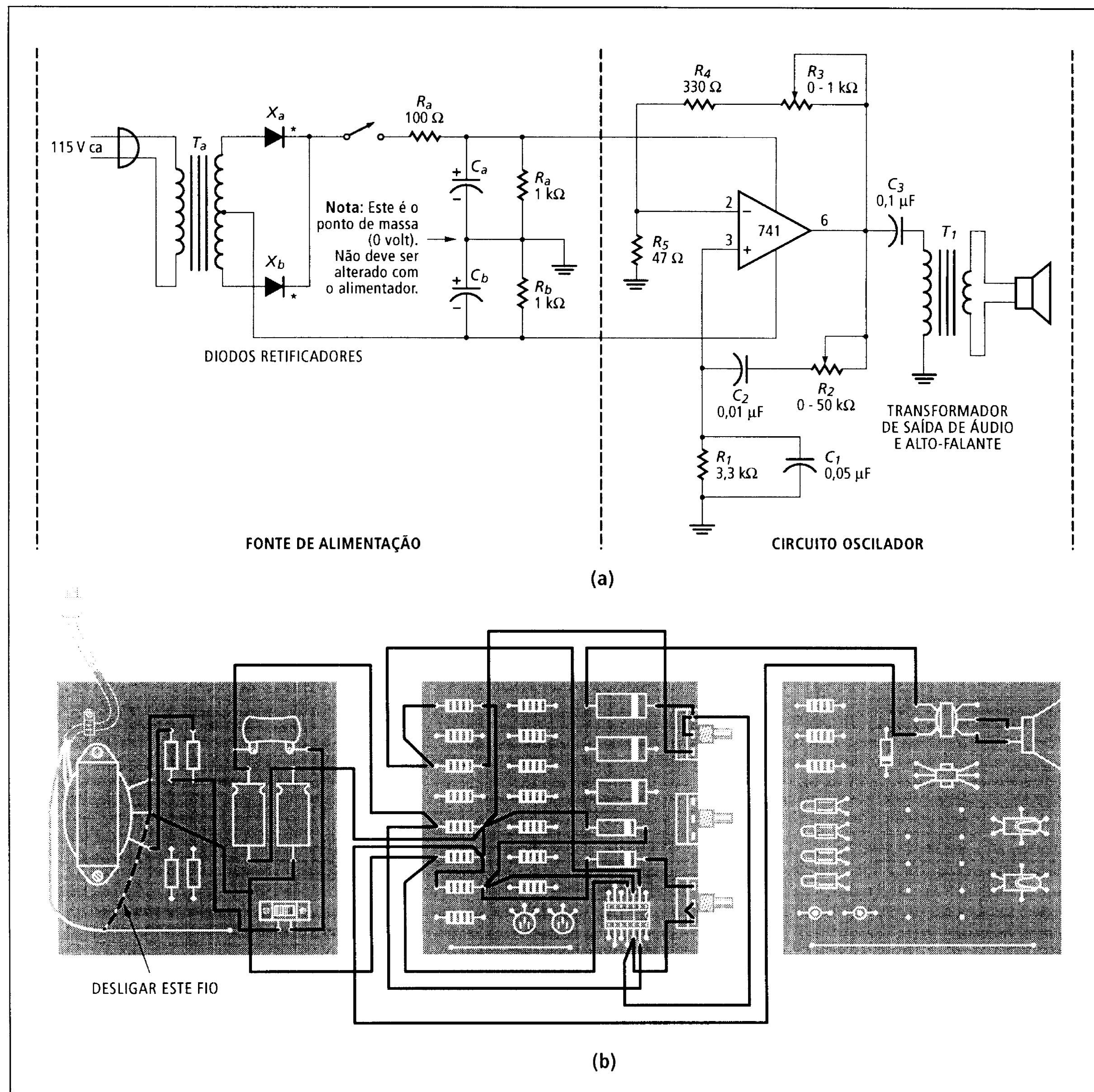
O ajuste de R_2 altera o tempo necessário para carregar C_2. Portanto, altera o tempo por ciclo ou período de cada ciclo.

A freqüência *f* do sinal de saída está relacionado com o período pela equação

$$f = \frac{1}{T}$$

Portanto, a alteração de R_2 altera o período e isto, por sua vez, altera a freqüência do som.

Fig. 10-29: Circuito para a experiência: (**a**) diagrama esquemático; (**b**) ligações de laboratório.



☐ *Etapa 6:* A freqüência aumenta ou diminui quando se aumenta a resistência de R_2?

.......................**Aumenta ou Diminui**

Aumentar a resistência de R_2, irá aumentar o período de T e diminuir a freqüência f.

☐ *Etapa 7:* Qual o efeito de R_3 sobre a saída do circuito?

....

O resistor R_3 controla o valor da realimentação para o terminal não-inversor de entrada. O ganho do amplificador depende da relação $(R_3 + R_4)/R_5$. Alterar o valor de R_3 fará com que o volume do som seja alterado.

Se R_3 for pequeno demais, a realimentação será reduzida ao ponto em que o ganho seja pequeno demais. Neste ponto, o amplificador não pode sustentar a oscilação.

■ CONCLUSÃO

O amplificador operacional irá oscilar no circuito da Figura 10-29. Isto significa que ele irá amplificar num circuito com uma única fonte de alimentação.

AUTOTESTE COM RESPOSTAS

(As respostas com discussões encontram-se no final do capítulo / pág. 222.)

1. O termo LSI refere-se a um circuito integrado com mais de

(a) 5 componentes passivos;

(b) 50 componentes ativos;

(c) 500 componentes ativos;

(d) 25 componentes passivos.

2. Qual das seguintes proposições não é um requisito para um amplificador operacional?

(a) deve ser um circuito integrado;

(b) deve ter um ganho muito alto;

(c) deve ter um terminal não-inversor de entrada;

(d) deve ter um terminal inversor de entrada.

3. Qual das seguintes proposições está correta?

(a) o aumento da largura da faixa de um amplificador é obtido aumentando-se o ganho;

(b) aumentar o ganho de um amplificador fará reduzir sua largura de faixa.

4. A afirmação seguinte está correta? Os sinais + e - no símbolo de um amplificador operacional dizem onde ligar os terminais positivo e negativo da fonte de alimentação:

(a) Sim;

(b) Não.

5. Um determinado circuito de amplificador operacional possui dois terminais de entrada: A e B. Toda vez que a tensão de A for maior que a tensão de B, o amplificador operacional tem uma saída baixa. Toda vez que a tensão de A for menor que a tensão de B, o amplificador operacional tem uma saída elevada. Este circuito é chamado:

(a) um analisador;

(b) um amplificador somador;

(c) uma rede em circuito fechado;

(d) um comparador.

6. Com referência à subtração num amplificador somador

(a) não pode ser realizada;

(b) o número a ser subtraído é fornecido ao terminal de saída e a diferença é obtida no terminal negativo;

(c) o número a ser subtraído é defasado em 180° em relação aos números a serem adicionados;

(d) o número a ser fornecido ao terminal positivo e a diferença é tirada do terminal negativo.

7. Um determinado amplificador operacional é ligado de forma a ter um ganho de tensão de 1, uma alta impedância de entrada e uma baixa impedância de saída. Este tipo de circuito é chamado

(a) oscilador;

(b) seguidor;

(c) circuito aberto;

(d) comparador.

8. Um termômetro de mercúrio usa uma coluna de mercúrio, além de uma coluna de números. Você lê a temperatura olhando a parte superior da coluna de mercúrio. Isto é

(a) um dispositivo análogo;

(b) um dispositivo digital.

9. A base não-condutora de um circuito integrado é chamada

(a) fundação;

(b) prancha;

(c) substrato;

(d) fundo.

10. Um capacitor no circuito integrado do amplificador operacional determina a taxa de diminuição do ganho com um aumento na freqüência. Isto

(a) não é possível porque os capacitores não podem ser produzidos em circuitos integrados;

(b) é uma compensação interna de freqüência;

(c) é um capacitor de segregação;

(d) é uma queda atenuada.

RESPOSTAS AO AUTOTESTE

1. (b) - Esta é uma definição aceita do circuito integrado LSI.

2. (a) - Os amplificadores operacionais já eram usados na década de 40, antes mesmo do advento dos transistores e dos circuitos integrados. Eram versões com válvulas a vácuo dos circuitos usados hoje em dia.

3. (b) - Existe sempre uma dependência entre largura de faixa e ganho.

4. (b) - Os terminais + e – indicam os terminais não-inversor e inversor para o sinal de entrada.

5. (d) - Não importa qual é a entrada marcada com A e qual a entrada marcada com B.

6. (c) - Veja a Figura 10-21 (pág.213).

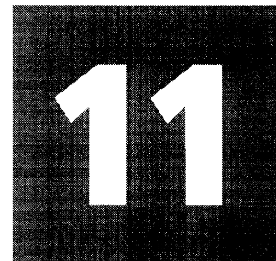
7. (b) - Este circuito tem as mesmas características que o seguidor de emissor

8. (a)

9. (c)

10. (b) - Nem todos os amplificadores operacionais possuem compensação interna de freqüência.

Como é usada a realimentação em amplificadores?



INTRODUÇÃO

Várias pessoas podem olhar o mesmo automóvel e cada uma poderia descrevê-lo de forma diferente. Uma pessoa poderia dizer que é um sedan, outra poderia dizer que é um carro azul, outra poderia dizer que é um carro para toda a família.

Se as mesmas pessoas olhassem para a mesma casa, poderiam descrevê-la de várias maneiras. Pode ser uma casa bonita, um sobrado e uma casa branca, tudo ao mesmo tempo.

Amplificadores podem também ter nomes diferentes e um amplificador pode ser descrito de várias maneiras. Por exemplo, pode ser chamado amplificador de tensão, amplificador de classe A e amplificador emissor comum. Todos estes nomes podem ser usados para o mesmo amplificador. De seus estudos em capítulos anteriores, você já sabe o que significam estes nomes.

Amplificadores podem também ser chamados por nomes que façam referência ao método para transferência do sinal de um estágio para o outro. Assim, temos amplificadores com acoplamento *RC*, com acoplamento por impedância, com acoplamento por transformador ou com acoplamento direto. Você irá estudar mais acerca destes circuitos neste capítulo.

Uma outra maneira de identificar amplificadores é de acordo com o tipo de sinal a ser amplificado. Exemplos disto são amplificadores de áudio, amplificadores de vídeo e amplificadores de rádio-freqüência.

Independentemente do nome do amplificador ou de sua utilização, um amplificador possui, pelo menos, duas características importantes: *ganho* e *largura de faixa*. O *ganho de tensão* é o quociente da tensão do sinal de saída dividido pela tensão do sinal de entrada. O *ganho de potência* é o quociente da potência do sinal de saída dividido pela potência do sinal de entrada.

A *largura da faixa* é a faixa de freqüências que o amplificador pode manipular. Existe uma dependência entre o ganho e a largura da faixa. Tudo que você fizer para aumentar o ganho de um amplificador irá reduzir sua largura de faixa. Por outro lado, reduzir o ganho irá aumentar sua largura de faixa.

Uma maneira comum de alterar ou de controlar o ganho de um amplificador é usar realimentação. Neste capítulo, você irá aprender como o ganho é aumentado ou diminuído pelo uso de realimentação.

Depois de estudar este capítulo, você poderá responder às seguintes perguntas:

- **Como são acoplados os sinais de um amplificador para o outro?**
- **O que é compensação de alta freqüência?**
- **O que é acoplamento por transformador?**
- **O que é acoplamento direto?**
- **Como é utilizada a realimentação em amplificadores?**
- **O que é realimentação de corrente e como ela é obtida?**
- **O que é realimentação de tensão e como ela é obtida?**
- **O que é compensação de baixa freqüência?**

INSTRUÇÃO

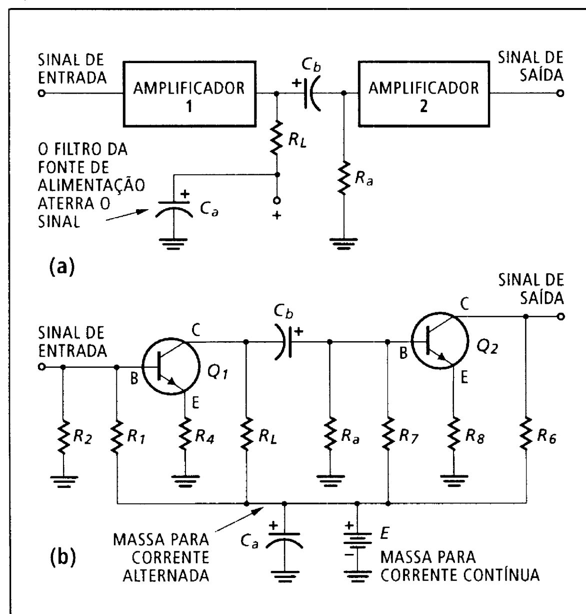
Como são acoplados os sinais de um amplificador para outro?

Até agora você aprendeu que todos os componentes amplificadores requerem uma tensão contínua. Isto inclui uma tensão contínua de polarização e de uma tensão sobre o componente. Você aprendeu como estas tensões contínuas afetam a operação dos amplificadores. Nossa preocupação nesta seção é com o caminho do *fluxo do sinal* de um amplificador para o outro.

O que é Acoplamento RC?

A Figura 11-1 mostra dois amplificadores com *acoplamento RC (Resistência Capacitância)*. Na Figura 11-1a, o sinal de saída do amplificador 1 é desenvolvido sobre o resistor de carga R_L. A figura mostra este resistor de carga ligado entre o amplificador e uma tensão de alimentação positiva para operar o dispositivo amplificador. Neste exemplo, o dispositivo amplificador pode ser uma válvula a vácuo, um transistor NPN ou um transistor FET.

Fig. 11-1: Acoplamento *RC*: (**a**) rede; (**b**) exemplo com transistores bipolares.



A tensão de sinal sobre R_L é acoplada ao resistor R_a através do capacitor de acoplamento C_b. O capacitor permite ao sinal passar do primeiro amplificador para o amplificador seguinte. Ao mesmo tempo, impede a tensão contínua positiva na saída do primeiro amplificador de passar para a entrada do estágio seguinte. O sinal de entrada para o amplificador 2 é a tensão de sinal desenvolvida sobre R_a.

O capacitor C_a é um capacitor de filtro de fonte de alimentação. Ele impede também o sinal de um amplificador de passar para o outro amplificador que está ligado à mesma fonte de alimentação.

A Figura 11-1b mostra um exemplo de dois amplificadores com acoplamento *RC*. Neste circuito, a polarização para Q_1 e Q_2 é obtida com redes diversas de tensão (R_1 e R_2; R_7 e R_a). Ambos os amplificadores possuem resistores de estabilização de emissor (R_4 e R_8).

O resistor de carga para o amplificador Q_1 é o resistor R_L. Este resistor tem a mesma função que R_L na Figura 11-1a. O capacitor de acoplamento entre os circuitos amplificadores é o capacitor C_b. O sinal de entrada para Q_2 é desenvolvido sobre R_a.

Na experiência do Capítulo 8, você aprendeu que um circuito pode ter, ao mesmo tempo, tensão contínua e tensão alternada. Você também aprendeu que o ponto de massa para a tensão alternada pode ser diferente do ponto de massa para a tensão contínua.

No circuito da Figura 11-1a, o capacitor C_a funciona também como filtro de desacoplamento. Este capacitor faz com que o ponto de tensão contínua positiva seja aterrado, somente no que diz respeito à tensão alternada. Uma vez que este é o ponto de massa para corrente alternada, não há qualquer possibilidade de um sinal de um amplificador passar para outro amplificador ligado neste ponto. Lembre-se de que a tensão alternada é de 0 volt no ponto de massa, para corrente alternada.

Os circuitos com acoplamento *RC* são muito populares por causa de seu baixo custo; porém, têm uma desvantagem muito séria. Você deve lembrar-se que um capacitor é um componente que se opõe a qualquer mudança de tensão sobre seus terminais. A oposição que um capacitor oferece à corrente alternada é chamada *reatância capacitiva* e é fornecida pela equação

$$X_C = \frac{1}{2 \ fC}$$

Existe um ponto importante nesta equação. Ela mostra que, para um determinado capacitor, quanto mais alta for a freqüência, menor será a reatância (ou oposição) que o mesmo oferece. Por outro lado, quanto mais

baixa for a freqüência, mais alta será a oposição ao fluxo de corrente alternada.

Voltando agora para o circuito acoplado entre os dois amplificadores, você pode ver que as altas freqüências serão acopladas do amplificador 1 para o amplificador 2, sem quase qualquer oposição. Porém, as freqüências muito baixas irão sofrer uma grande oposição. A freqüência mais baixa possível – uma tensão contínua ou de 0 hertz – não pode ser acoplada.

Em resumo, o acoplamento *RC* é barato, porém não é adequado para ser utilizado com freqüências muito baixas.

A Figura 11-2 mostra uma curva típica de resposta para amplificadores com acoplamento *RC*.

Observe que o ganho cai sensivelmente em baixas freqüências por causa do capacitor de acoplamento. O ganho cai também sensivelmente em altas freqüências devido à capacitância de entrada e à capacitância distribuída no circuito. A Figura 11-3 mostra estas capacitâncias em linhas pontilhadas.

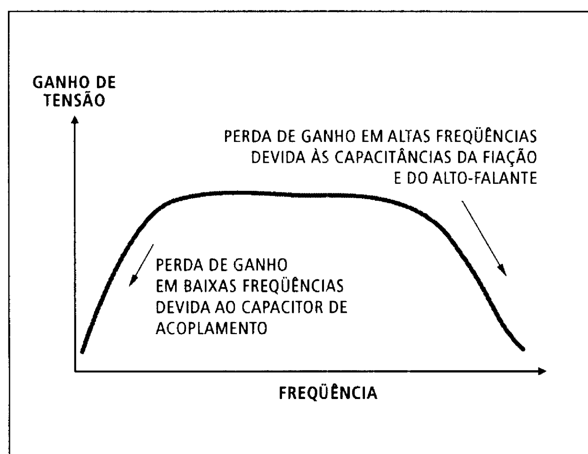


Fig. 11-2: Resposta de freqüência do amplificador.

O capacitor C_x, na Figura 11-3, representa a capacitância para terra (chassis) dos fios de ligação e dos componentes no circuito. Você poderá lembrar que o capacitor é constituído por dois condutores separados por um isolador. Os fios de ligação e os componentes para a circuito são separados do chassis ou do ponto de massa por um isolamento (ar), de modo que funcionam como qualquer capacitor. Em baixas freqüências, esta capacitância é tão baixa que pode ser ignorada. Em altas freqüências, grande parte do sinal pode ser perdido, devido à capacitância entre os fios de ligação e os componentes com o chassis.

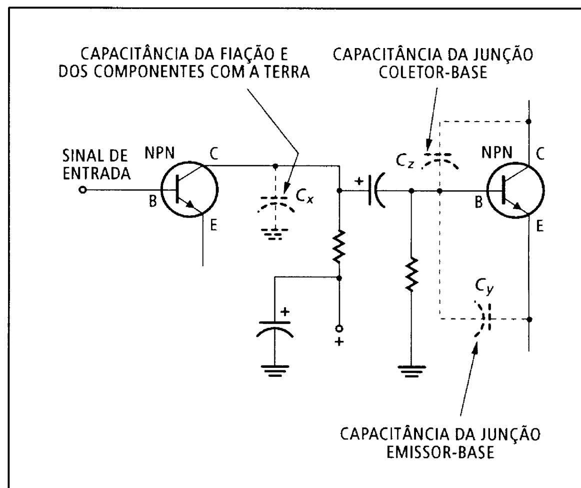


Fig. 11-3: Duas razões para perda de ganho em altas freqüências.

O capacitor C_y na Figura 11-3 é a capacitância entre o eletrodo de controle (grade, base ou porta) e o eletrodo comum (cátodo, emissor ou fonte). Esta capacitância está sempre presente. Tem o efeito de colocar em curto parte do sinal de alta freqüência para a terra. O mesmo efeito é causado por C_2, a capacitância do eletrodo de controle em relação ao eletrodo de saída (placa, coletor ou dreno).

A perda de sinal causada por C_x e C_y, na Figura 11-3, não pode ser evitada. Isto faz com que a curva de resposta do amplificador com acoplamento *RC*, indicada na Figura 11-2, caia em freqüências mais elevadas.

O que é Compensação de Alta Freqüência?

Uma maneira de melhorar o ganho de amplificadores em altas freqüências (aproximadamente acima de 100 kilohertz) consiste em acrescentar um indutor no circuito de saída. Ele é chamado *bobina de pico* e esta bobina está indicada na Figura 11-4. Agora, a carga para o amplificador 1 consiste em *L* e R_l em série. Em baixas freqüências, *L* não apresenta quase qualquer reatância de modo que não há quase tensão alguma desenvolvida sobre a mesma.

Em altas freqüências, a reatância de *L* é elevada. Portanto, haverá uma queda de tensão sobre *L* e também sobre R_l. Isto significa que a tensão fornecida pelo capacitor de acoplamento C_b para o resistor de entrada R_2, é maior em altas freqüências do que seria sem *L*.

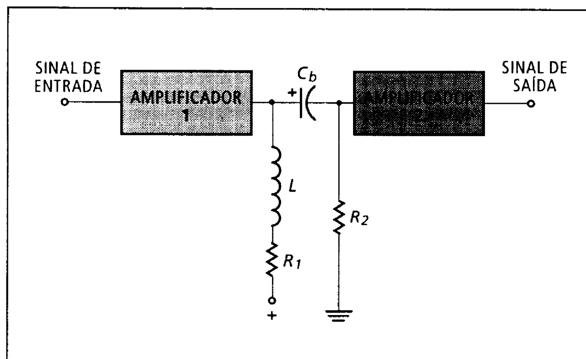


Fig. 11-4: Compensação em altas freqüências.

O circuito na Figura 11-4 é chamado *circuito de compensação de alta freqüência*. Tais circuitos são comumente encontrados nos amplificadores de vídeo dos receptores de TV (veja o Capítulo 14) e nos osciloscópios.

Os circuitos de compensação em alta freqüência podem ter formas diferentes daquelas indicadas na Figura 11-4. O indutor pode ser ligado em série com o capacitor de acoplamento. Em alguns casos, podem ser usados dois indutores, um em série com R_1 e outro em série com o capacitor de acoplamento.

O que é Acoplamento por Transformador?

Foi demonstrado que o capacitor acoplador em amplificadores com acoplamento *RC* impede a tensão contínua na saída do amplificador 1 de atingir o circuito de entrada do amplificador 2.

O transformador é outro componente de circuito que irá deixar passar uma tensão alternada, porém não irá deixar passar uma tensão contínua. *O acoplamento por transformador* entre amplificadores está ilustrado na Figura 11-5.

Na Figura 11-5a o símbolo do transformador indica que é um transformador com núcleo de ar. Isto significa que o amplificador é usado apenas para rádio-freqüências. Uma vez que o primário e o secundário do transformador são ambos indutores, o primário ou o secundário, ou ambos os enrolamentos do transformador podem ser sintonizados. Isto é uma grande vantagem do acoplamento por transformador em circuitos de rádio-freqüência. Em regra geral, você irá achar que a maioria dos amplificadores de rádio-freqüência tem pelo menos um circuito sintonizado em suas redes de acoplamento. Este circuito sintonizado irá geralmente fazer parte de um circuito acoplado por impedância ou acoplado por transformador.

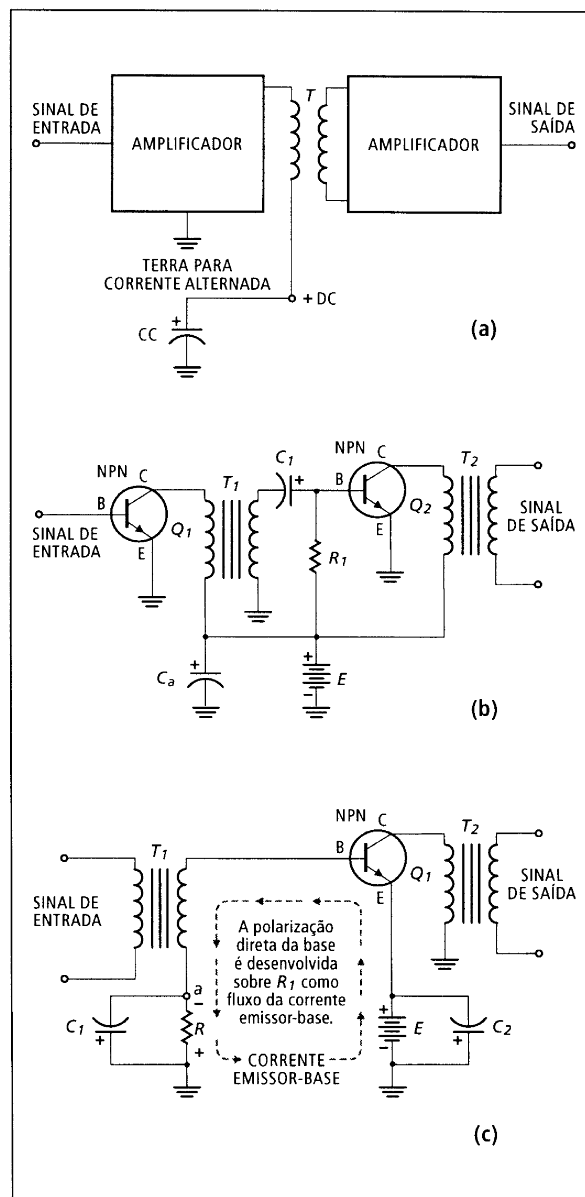


Fig. 11-5: Acoplamento por transformador: (a) acoplamento entre amplificadores de rádio-freqüência; (b) circuito com freqüência de áudio com capacitor de isolamento C_1; (c) circuito com freqüência de áudio sem capacitor de isolamento.

A Figura 11-5b mostra um circuito amplificador típico de áudio-freqüência com acoplamento por transformador. Ambos os transistores são do tipo NPN, de modo que exigem uma tensão positiva sobre seus coletores e uma tensão positiva sobre suas bases em relação aos seus emissores.

O sinal de saída do transistor Q_1 é fornecido para Q_2 através do transformador de acoplamento T_1 e do capacitor de acoplamento C_1. Observe que o primário do transformador T_1 vai para a fonte de alimentação com tensão positiva para alimentar com tensão positiva o coletor de Q_1. No transistor Q_2, a base obtém sua tensão positiva através do resistor R_1 e o coletor obtém sua tensão positiva através do primário do transformador T_2.

Vamos supor que o capacitor de acoplamento C_1 estivesse omitido no circuito da Figura 11-5b. Isto significa que a base seria aterrada através da baixa resistência do enrolamento secundário do transformador T_1. Como você sabe, o transistor Q_2 não poderia operar em classe A, com sua base aterrada. Ele deve ter uma tensão de polarização direta da base. A finalidade do capacitor C_1 é impedir que a tensão da base de Q_2 seja aterrada.

Nem todos os circuitos acoplados por transformador têm necessidade deste capacitor. A Figura 11-5c mostra outro circuito com transistor NPN com acoplamento por transformador, porém o capacitor de acoplamento não é necessário neste estágio.

Observe que, no circuito da Figura 11-5c, tanto o coletor como a base (somente para corrente alternada) são ligados à terra através dos enrolamentos do transformador e o emissor é ligado em uma tensão negativa. Para polarização direta, não faz diferença se o emissor for negativo e a base zero ou a base positiva e o emissor zero. No que diz respeito ao transistor NPN, qualquer dos dois tipos de conexão irá proporcionar a polarização direta adequada. Também não faz qualquer diferença (para fluxo de corrente do coletor) se o coletor estiver com tensão zero e o emissor negativo ou o coletor positivo e o emissor zero. Em ambos os casos, o coletor e a base são positivos em relação ao emissor, conforme exigido pelo circuito NPN. A vantagem do circuito, porém, é que um capacitor de acoplamento, como C_1 da Figura 11-5b, não é necessário. Isto também melhora a resposta do amplificador em baixas freqüências.

O resistor R no circuito da Figura 11-5c é necessário para limitar a corrente emissor-base no valor desejado. O capacitor C_1 em paralelo com R mantém a parte inferior do enrolamento secundário (ponto *a*) no potencial alternado (áudio) da terra. Portanto, todo o sinal de áudio é fornecido para a base.

O que é Acoplamento Direto?

Nenhum dos métodos de acoplamento de amplificadores de áudio (ou vídeo) descritos até aqui pode ser usado para amplificar uma faixa muito ampla de freqüências. O acoplamento *RC* proporciona resposta de freqüência de áudio muito deficiente em baixas freqüências e uma resposta limitada em altas freqüências (acima do áudio). O acoplamento com compensação de alta freqüência tem a mesma resposta em baixas freqüências, porém melhor resposta em altas freqüências (até 4 megahertz ou mais). O acoplamento por transformador pode ser usado para uma faixa de freqüências estabelecidas pela construção do transformador. Porém, em geral, este tipo de acoplamento não é usado para uma faixa muito ampla de freqüências.

O quinto método de acoplamento chamado *acoplamento direto* (indicado na Figura 11-6) tem a vantagem de ter a melhor resposta possível em baixas freqüências até 0 hertz. Porém, este tipo de acoplamento ainda possui basicamente a mesma resposta limitada em altas freqüências, da mesma forma que um circuito com acoplamento *RC* não-compensado. Existe apenas um pedaço reto de fio ligando o Amplificador 1 ao Amplificador 2 na Figura 11-6a. Para realizar isto, é preciso ter muito cuidado no projeto do amplificador. Não é mais possível isolar a tensão contínua normalmente mais elevada do coletor – 9 volts – do primeiro estágio da tensão normalmente mais baixa da entrada para base do segundo amplificador.

A Figura 11-6b mostra como pode ser obtido o acoplamento direto com transistores NPN. O resistor de carga para Q_1 é R_3. A tensão contínua de coletor de Q_1 é também a tensão de base para Q_2. As setas mostram o caminho da corrente contínua do coletor para Q_1 e Q_2 e o fluxo da corrente de base para Q_2. Observe que as duas correntes fluem através de R_3.

Os resistores do emissor têm dois valores diferentes. O emissor de Q_2 é mais positivo que o emissor de Q_1. (As tensões contínuas indicadas nos quadrados são em relação à terra. A tensão *sobre* cada transistor é a mesma.)

O transistor Q_1 tem uma tensão emissor-base de 0,8 volt e o transistor Q_2 possui também uma tensão emissor-base de 0,8 volt. A tensão emissor-coletor para ambos os transistores é 7 volts, conforme indicado na Figura 11-6.

As tensões de operação de ambos os transistores são as mesmas, apesar de terem tensões diferentes em relação à terra. Porém, o ponto importante a ser considerado é que ambos os transistores funcionam corretamente.

Sua operação é baseada nas tensões e correntes emissor-base e emissor-coletor e não sobre as tensões sobre os eletrodos em relação à terra

Existem capacitâncias da fiação em circuitos de acoplamento direto. Da mesma forma, os componentes amplificadores possuem capacitâncias de entrada e de saída. Isto significa que existe um limite prático para a resposta em altas freqüências de amplificadores com acoplamento direto, conforme indicado anteriormente.

A Figura 11-7 mostra como os componentes de amplificadores podem ser acoplados diretamente. Nesta aplicação são usados transistores bipolares, porém, idéia semelhante pode ser aplicada aos transistores de junção (JFET) ou aos transistores MOSFET tipo redução. No acoplamento direto, a base de Q_2 recebe uma tensão positiva relativamente alta, já que esta é a mesma que é aplicada ao coletor de Q_1. R_2 deve ter um valor alto suficiente para compensar esse efeito. A queda de tensão através de R_2 não permite que a base de Q_2 se torne demasiado positiva em relação ao emissor.

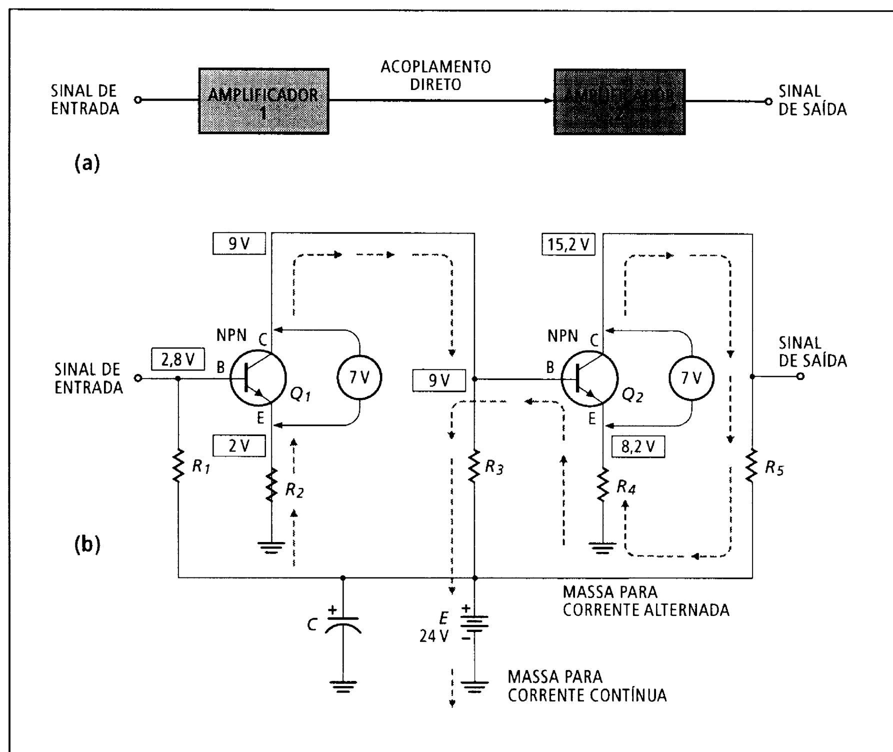
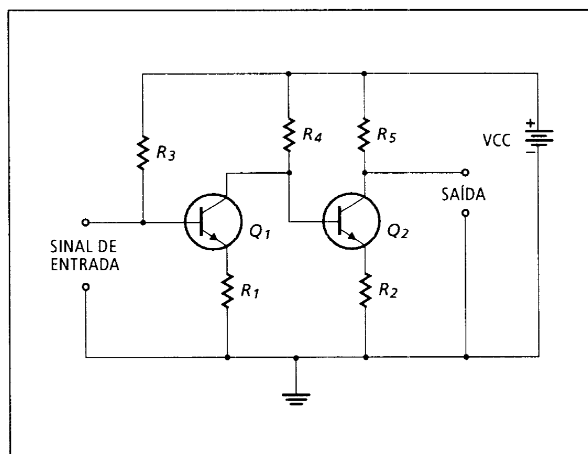


Fig. 11-6: Acoplamento direto: (**a**) entre amplificadores; (**b**) entre transistores bipolares.

Fig. 11-7: Amplificador transistorizado com acoplamento direto

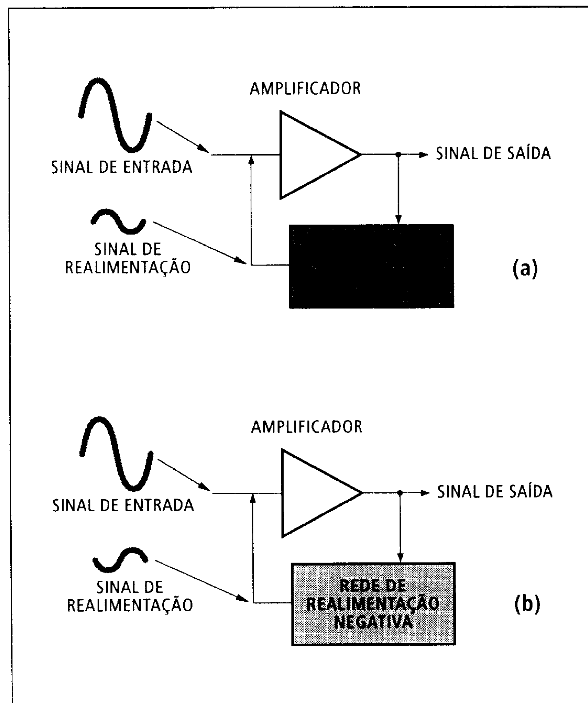


RESUMO

1. Um amplificador pode ser conhecido por vários nomes diferentes. Pode ser um amplificador de tensão de áudio de classe A e ao mesmo tempo um amplificador com acoplamento direto ou um amplificador massa-emissor.
2. O capacitor de acoplamento em amplificadores com acoplamento *RC* deixa passar o sinal de corrente alternada. Ao mesmo tempo, impede a tensão contínua de um amplificador de atingir o estágio seguinte.
3. O capacitor de acoplamento em circuitos com acoplamento *RC* tende a causar resposta deficiente em baixas freqüências. Isto pode ser evitado em alguns circuitos usando um alto valor para a capacitância de acoplamento.

4. Circuitos de compensação de alta freqüência podem produzir melhor resposta em altas freqüências do que no simples acoplamento *RC*. Esses circuitos usam bobinas de pico.
5. O acoplamento por transformador é freqüentemente usado em circuitos de rádio-freqüência, assim como em circuitos de áudio. O enrolamento primário ou o secundário (ou ambos) de um transformador de rádio-freqüência podem ser sintonizados com um capacitor, de modo que apenas uma freqüência ou uma faixa estreita de freqüências irão passar.
6. O acoplamento direto proporciona a melhor resposta em baixas freqüências, porém é preciso tomar o máximo cuidado no projeto dos amplificadores.
7. Uma desvantagem do acoplamento direto é que a fonte de alimentação deve proporcionar uma tensão mais alta. (Existe uma exceção a isto chamada *circuito amplificador complementar*. Este circuito será discutido mais adiante neste capítulo.)

Fig. 11-8: Tipos de realimentação: (**a**) positiva; (**b**) negativa.



Como é utilizada a realimentação em amplificadores?

No Capítulo 9 você aprendeu que uma pequena porção do sinal de saída de um amplificador pode ser realimentada na entrada, fazendo o circuito do amplificador oscilar. Uma das condições mais importantes para oscilação é que o sinal de realimentação deve estar em fase com o sinal de entrada. Este tipo de realimentação é chamado *realimentação positiva* ou *regenerativa.*

Existe uma outra maneira de realimentar um sinal na entrada de um amplificador e isto é chamado *realimentação negativa* ou *degenerativa.* Com a realimentação negativa, o sinal de saída é devolvido para a entrada de tal forma que se subtrai do sinal de entrada. Em outras palavras, o sinal de realimentação é defasado em 180° em relação ao sinal de entrada.

A Figura 11-8 mostra os dois tipos de realimentação em forma de diagrama de blocos. Na Figura 11-8a a parte do sinal de saída do amplificador é fornecida através de uma rede de realimentação e combina com o sinal de entrada. Diz-se que estes dois sinais estão em fase porque se tornam positivos e negativos ao mesmo tempo.

A realimentação negativa está indicada na Figura 11-8b. Parte do sinal de saída é passada através de uma rede de realimentação e combinada com a entrada. Porém, o sinal de realimentação torna-se negativo quando o sinal de entrada torna-se positivo, e torna-se positivo quando o sinal de entrada torna-se negativo. Desta forma, o sinal de realimentação subtrai-se do sinal de entrada. Um resultado importante é a perda de ganho que ocorre.

A Figura 11-9 mostra como os sinais são combinados para os dois tipos de realimentação. Na Figura 11-9a um sinal de realimentação positiva está indicado em linhas pontilhadas. É combinado com o sinal de entrada que está indicado em linhas cheias. A combinação dos dois sinais é uma adição simples. Em outras palavras, a amplitude do sinal de pico de entrada a simplesmente adiciona-se à amplitude do sinal de pico de realimentação b. O resultado da adição dos dois sinais é uma onda que tem exatamente a mesma forma, porém maior amplitude ($a + b$). (A alternância negativa está aumentada exatamente da mesma forma.)

A Figura 11-9b mostra como um sinal de realimentação negativa b combina-se com o sinal de entrada a. Mais uma vez o sinal de realimentação está indicado

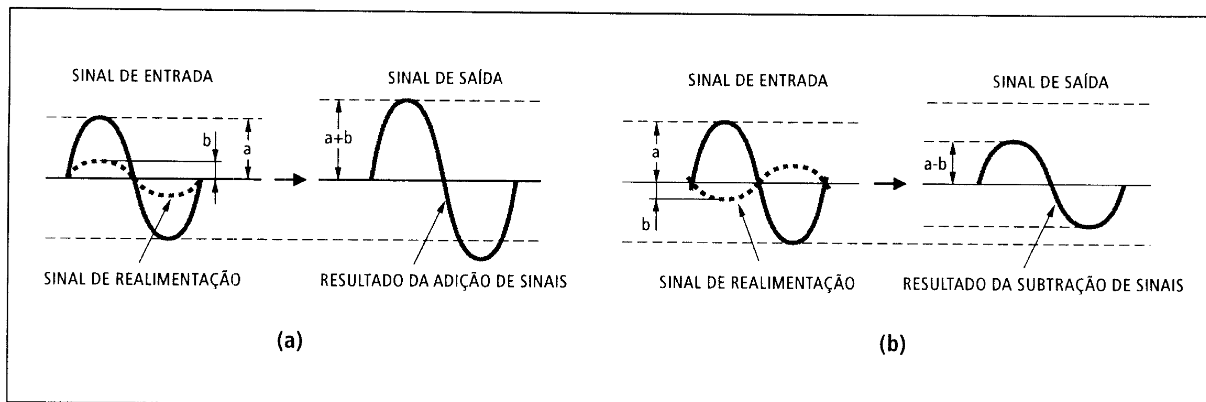


Fig. 11-9: Resultado da combinação dos sinais de entrada e de realimenlação: (**a**) com realimentação positiva; (**b**) com realimentação negativa.

com linhas pontilhadas e o sinal de entrada está indicado com uma linha cheia. Na alternância positiva do sinal de entrada, a amplitude *a* está em polaridade oposta ao sinal de realimentação *b*. Os dois sinais subtraem-se um do outro. O resultado da subtração destes sinais é que o sinal de saída é de menor amplitude (*a* - *b*). (A alternância negativa do sinal de saída é reduzida da mesma forma que a porção positiva.)

Como é usada a Realimentação Positiva em Amplificadores?

No Capítulo 9. você aprendeu que a oscilação é um dos resultados da realimentação positiva. Se houver um sinal suficiente do amplificador de realimentação para substituir a energia perdida num circuito oscilante *LC* durante cada ciclo, o circuito irá oscilar. O circuito total é chamado *oscilador*.

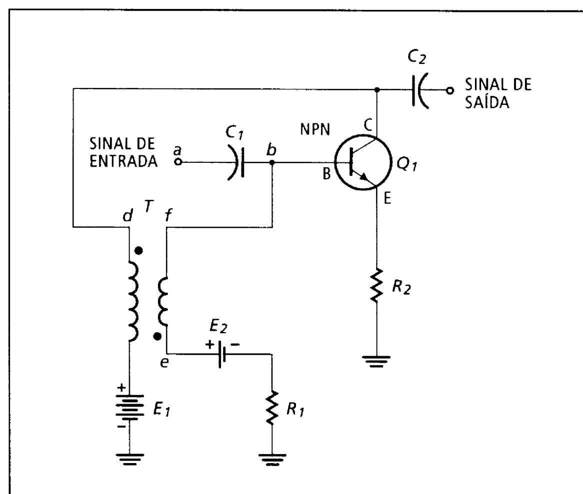
A realimentação positiva é usada para finalidades diferentes da oscilação: em alguns amplificadores de alta freqüência é difícil obter um grande ganho de sinal devido às perdas capacitivas no circuito. Para aumentar o ganho do circuito, uma porção muito pequena do sinal de saída é realimentada na entrada do amplificador para reforçar ou adicionar-se ao sinal de entrada. Isto resulta num ganho muito maior que aquele que poderia ser obtido sem a realimentação.

Um exemplo deste tipo de circuito está indicado na Figura 11-10. Neste circuito, o transistor Q_1 serve como amplificador do sinal de entrada de rádio-freqüência. Uma bateria separada E_2 é usada para polarização da base. A tensão de coletor é fornecida por E_1. O sinal de entrada é passado através de C_1 para a base e o sinal de saída é obtido através do capacitor de acoplamento C_2. O resistor R_1 limita o valor da corrente de polarização da base no circuito.

Uma porção do sinal de saída é realimentada através do transformador *T* para a base do amplificador. Este transformador tem *indicações de pontos* que você pode observar em muitos desenhos esquemáticos comerciais. Estes pontos indicam os locais do transformador no primário e no secundário onde os sinais estão em fase. Isto significa que, quando o sinal primário torna-se positivo no ponto, o secundário está se tornando também positivo no ponto. Esta indicação por pontos é importante para os técnicos. Para substituir alguns transformadores, o secundário deve ser ligado da forma certa.

Com os pontos você pode dizer do símbolo do transformador se a realimentação é positiva ou negativa.

Fig. 11-10: Um circuito com realimentação positiva.



A polaridade do sinal de realimentação no circuito da Figura 11-10 é fácil de seguir. O sinal de entrada no ponto *a* é passado para a base do transistor através do capacitor C_1. Para aumentar o ganho do circuito, o sinal de realimentação deve estar em fase com este sinal de entrada.

Vamos supor que o sinal de entrada esteja se tornando positivo em algum instante. O sinal de entrada positivo no ponto *a* faz com que a tensão de base no ponto *b* torne-se também positiva. Uma vez que Q_1 é um amplificador convencional, a tensão de saída no ponto *c* é inversa da tensão no ponto *b*. Em outras palavras, quando a base *b* está se tornando positiva, a tensão de coletor em *c* está se tornando negativa. Esta tensão negativa é fornecida ao primário de *T*. Lembre-se de que os pontos no transformador são da mesma polaridade. Portanto, quando a tensão em *d* está se tornando negativa, a tensão em *e* está se tornando também negativa. Se *e* está se tornando negativo, a tensão no outro lado do secundário (ponto *f*) está se tornando positiva.

A tensão positiva em *f* adiciona-se à tensão positiva em *a* para aumentar a tensão do sinal em *b*.

A mesma cadeia de eventos ocorre quando a tensão no ponto *a* está se tornando negativa. O resultado global é que, se a tensão no ponto *f* do secundário do transformador está sempre em fase com a tensão no ponto *a*, estas duas tensões combinam-se para produzir uma maior tensão de entrada que aquela que seria obtida apenas com a tensão em *a*. Assim, o ganho do estágio é aumentado.

Você pode ver imediatamente que haverá um problema com o circuito da Figura 11-10. Este circuito é muito parecido com o oscilador Armstrong que você estudou no Capítulo 9. O que impede este circuito de entrar em oscilação? A resposta é que a realimentação deve ser mantida em um valor muito pequeno. Em outras palavras, o sinal de realimentação deve ser menor que o valor do sinal necessário para oscilação. Isto é parcialmente realizado usando um transformador abaixador para o circuito de realimentação. Como você poderá ver mais adiante neste capítulo, o resistor R_2 é usado para estabilização de emissor. Este resistor também reduz o ganho do estágio e serve, portanto, para reduzir a possibilidade de oscilação no circuito.

Você não irá observar o circuito da Figura 11-10 usado em muitos sistemas porque este circuito tem uma tendência para oscilar. Apesar de que ajustes de fábrica são feitos para evitar a oscilação se alguém substituir o transistor Q_1 no circuito, a diferença em ganho pode ser suficiente para levar o circuito a oscilação.

Como é usada a Realimentação Negativa em Amplificadores?

No circuito da Figura 11-11 o sinal de entrada é passado para a base através de C_1 e o sinal de saída é passado através de C_2. Os resistores R_1 e R_2 formam um divisor de tensão para polarização da base. O resistor de carga é *R3*, e *R4* é o resistor de estabilização do emissor.

Você poderá lembrar da discussão sobre as configurações de amplificadores de que o sinal de entrada pode ser fornecido para o eletrodo de controle (base) do amplificador e que o sinal de saída pode ser tirado do emissor. Este tipo de circuito é chamado *seguidor*. É também chamado circuito *coletor comum*, circuito *dreno comum* ou circuito *placa comum*, dependendo do tipo de componente amplificador usado.

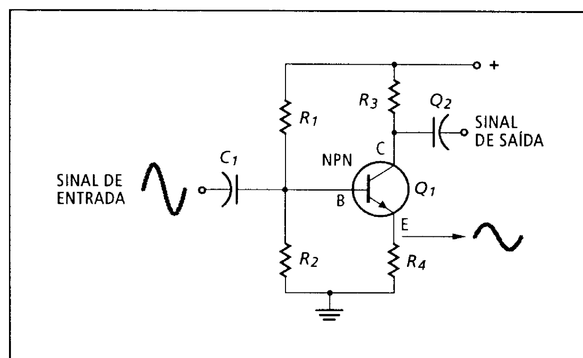


Fig. 11-11: Amplificador com realimentação de corrente.

Uma característica importante de um seguidor é que o sinal de saída está em fase com o sinal de entrada. Na Figura 11-11 a tensão do sinal no emissor seria a saída do circuito se este fosse um seguidor. Observe que o sinal de entrada e o sinal no emissor estão em fase. Isto significa que, quando a base do transistor torna-se mais positiva, o emissor também torna-se mais positivo e, quando a base torna-se menos positiva, o emissor torna-se menos positivo.

O sinal no emissor reduz o ganho do amplificador. Para aumentar a corrente de coletor num transistor NPN, você deve aumentar a corrente da base. Isto é realizado tornando a base mais positiva em relação ao emissor. Se a base no circuito da Figura 11-11 torna-se mais positiva, o emissor também torna-se mais positivo. Por causa disto, a tensão alternada base-emissor está agora menor do que estaria se a tensão do emissor estivesse constante. O resultado é uma redução no ganho do amplificador.

O que é Realimentação de Corrente e como é obtida?

O resultado global do resistor R_4 na Figura 11-11, então, é uma redução do ganho do estágio ao permitir que a tensão do emissor siga a tensão de entrada. Na realidade, isto é uma forma de realimentação no amplificador. Isto é chamado *realimentação de corrente* porque a tensão de realimentação é derivada da corrente que flui através do resistor do emissor.

Você pode também obter realimentação de corrente em circuitos com válvulas a vácuo e circuitos de transistores FET. A realimentação de corrente é uma forma de realimentação negativa porque causa uma perda de ganho.

Você poderia estranhar o que a realimentação de corrente realiza. Depois de usar um amplificador para obter ganho, você realimenta propositadamente um sinal para reduzir o ganho. Você deve lembrar-se de uma coisa muito importante sobre todos os amplificadores. *Existe sempre uma dependência entre ganho e largura de faixa.* Em outras palavras, tudo o que você fizer para aumentar o ganho de um determinado amplificador, reduz a faixa de freqüências que o mesmo pode amplificar.

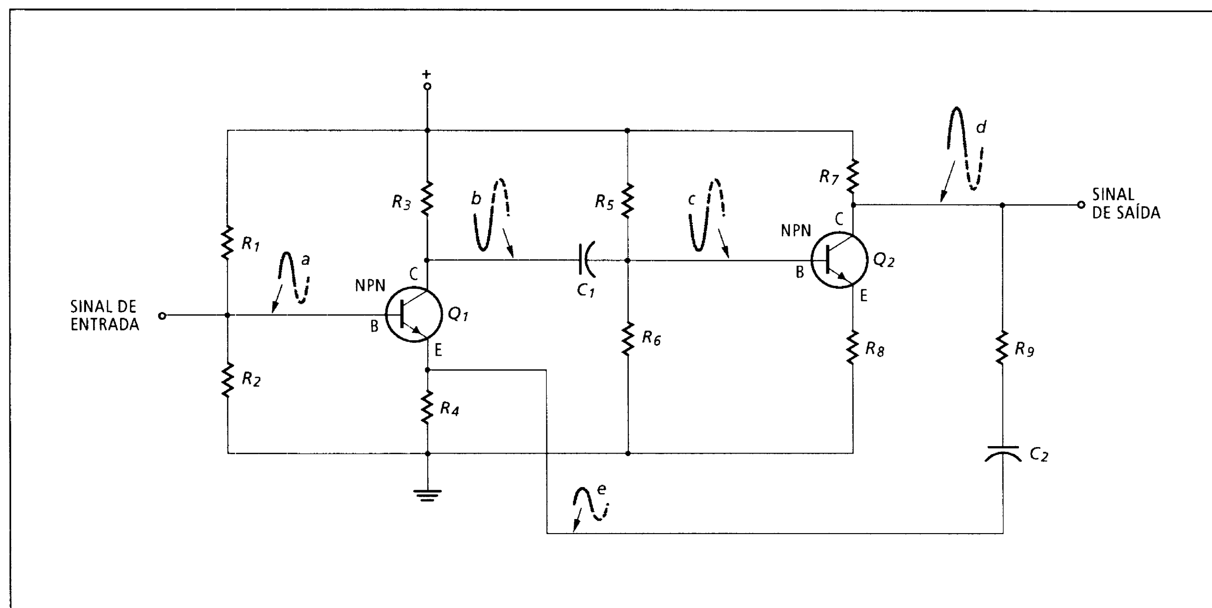
Se o amplificador da Figura 11-11 for usado para sinais de áudio, a realimentação negativa tem por efeito reduzir o ganho, mas aumentando a faixa de freqüências de áudio amplificadas. Em outras palavras, é possível amplificar uma maior faixa de freqüências do que seria possível sem realimentação negativa.

Não é possível à tensão de realimentação no emissor do amplificador ser tão elevada quanto a tensão de entrada na base. Quando você estudou os circuitos de seguidor de emissor, aprendeu que o ganho do seguidor do emissor é sempre inferior a 1. Isto significa que a amplitude do sinal de saída no emissor é sempre menor que a amplitude do sinal de entrada na base. Portanto, apesar de a tensão de emissor variar com a tensão da base, não varia na mesma intensidade. Desta forma, existe sempre um sinal efetivo na base. O valor da corrente de realimentação depende da resistência do resistor R_4. Quanto maior a resistência de R_4, maior será a intensidade da corrente de realimentação.

A realimentação de corrente é usada em circuitos de áudio de alta-fidelidade, assim como em receptores de rádio e de televisão.

Do que foi dito até aqui sobre realimentação de corrente, é agora mais fácil entender a finalidade de R_2 na Figura 11-10. O resistor R_2 está introduzindo corrente de realimentação, reduzindo assim o ganho do amplificador Q_1. Se o circuito for adequadamente projetado, o ganho será suficientemente reduzido para impedir a ocorrência de oscilação no circuito. Evidentemente, o ganho líquido é maior do que o que seria obtido se não fosse usada a realimentação positiva.

Fig. 11-12: Amplificadores com acoplamento *RC* e realimentação de tensão.



O que é Realimentação de Tensão e como é obtida?

A realimentação negativa pode ser obtida tanto com *realimentação de tensão* como com realimentação de corrente. Um exemplo de como isto é obtido está indicado na Figura 11-12. Isto é um circuito amplificador de dois estágios com acoplamentos *RC*. Para entender o circuito, vamos, em primeiro lugar, observar o circuito amplificador. Os resistores R_1 e R_2 formam um divisor de tensão para a polarização da base de Q_1, e C_1 é o capacitor de acoplamento. Os resistores R_5 e R_6 formam o divisor de tensão para a tensão de polarização da base de Q_2. Os resistores R_3 e R_7 são os resistores de carga para os dois amplificadores.

Dois resistores de estabilização do emissor (R_4 e R_8) são usados. Eles irão produzir realimentação de corrente assim como estabilizar o circuito contra variações de temperatura.

Para entender o circuito de realimentação de tensão podemos observar o formato da onda em vários pontos no circuito. O sinal de entrada na base é uma tensão senoidal. A alternância positiva desta onda senoidal está indicada com uma linha cheia. Uma vez que se trata de um amplificador emissor comum, o sinal de saída obtido no coletor está defasado em 180°, com relação à entrada. Isto está indicado pela linha cheia para a alternância negativa da onda *b*.

A onda *c* é a mesma que a onda *b*. Ela está ainda defasada em 180° em relação a *a*. O amplificador Q_2 é um circuito emissor comum, de modo que a saída de Q_2 está também defasada em 180° em relação à sua entrada. Isto está indicado como onda *d*. Observe que a onda *d* está agora em fase com a onda *a*. Em outras palavras, ambas tornam-se positivas e negativas ao mesmo tempo.

Parte do sinal de fase em *d* é devolvida para o emissor de Q_1 através do resistor R_9 e o capacitor C_2. O capacitor C_2 é necessário para isolar a tensão positiva de coletor Q_2 da tensão de emissor de Q_1. O resistor R_9 reduz a amplitude do sinal de realimentação. Observe que o sinal de realimentação (marcado *e*) está em fase com o sinal de entrada de Q_1 (marcado *a*). Ambos tornam-se positivos e negativos ao mesmo tempo. Este sinal de realimentação é injetado no emissor de Q_1. Serve para reduzir a taxa de alteração da tensão entre o emissor e a base (sinal efetivo de entrada) quando o sinal de entrada é fornecido.

Em resumo, o circuito da Figura 11-12 possui dois tipos de realimentação negativa. A realimentação de corrente é obtida dos resistores do emissor e a realimentação de tensão é obtida através de R_9 e C_2.

Um outro exemplo de realimentação de tensão está indicado na Figura 10-10. Neste amplificador operacional simples, o sinal de realimentação é passado através do resistor R_2. Observe que o sinal de realimentação está defasado em relação ao sinal de entrada, de modo que estes sinais subtraem-se. O ganho é reduzido pelo sinal de realimentação. A realimentação de tensão é sempre usada num circuito normal de amplificador operacional – isto é, quando o amplificador operacional é usado como amplificador.

A realimentação de corrente é geralmente usada para obter realimentação negativa. A realimentação de tensão é usada tanto para realimentação positiva como para realimentação negativa.

RESUMO

1. A realimentação positiva é também chamada realimentação *regenerativa*.
2. A realimentação positiva é usada para aumentar o ganho do amplificador. É também usada em circuitos de osciladores.
3. A realimentação negativa é também chamada realimentação *degenerativa*.
4. A realimentação negativa é usada para reduzir o ganho de um amplificador e aumentar assim sua largura de faixa.
5. Um transformador pode ser usado para realimentação positiva. Os pontos no símbolo de um transformador mostram os pontos que estão em fase.
6. Um resistor de emissor pode ser usado para realimentação negativa. O mesmo vale para um resistor de cátodo ou um resistor de fonte.
7. Realimentação com resistor de emissor, resistor de cátodo ou resistor de fonte é um exemplo de realimentação de corrente.
8. A realimentação de corrente é geralmente negativa.
9. A realimentação de tensão pode ser positiva ou negativa.

Como pode ser evitada a Realimentação Negativa?

Resistores de estabilização de emissor estão incluídos na maioria dos circuitos com transistores para proteger o transistor da fuga térmica. Acabamos de demonstrar que o resistor de emissor pode também ser usado para obtenção de realimentação de corrente e assim reduzir o ganho em um estágio. Em alguns casos, isto pode ser indesejável. Se você está tentando obter um alto ganho e uma ampla largura de faixa, não é necessário; você não vai querer ter realimentação negativa.

A Figura 11-13 mostra duas maneiras para evitar a realimentação degenerativa. Na Figura 11-13a, o resistor do emissor é eliminado do circuito e o emissor é diretamente aterrado. Isto irá resultar em ganho maior que aquele que seria obtido com um resistor de emissor. Porém, a desvantagem é que não há estabilização alguma no circuito, de modo que o ganho será afetado por variações na temperatura. Na Figura 11-13b, o resistor de emissor tem um capacitor em paralelo. Você poderá lembrar que um capacitor é um componente que se opõe a qualquer mudança de tensão entre seus terminais. O capacitor mantém constante a tensão do emissor. Isto é obtido pela carga e descarga do mesmo, conforme indicado na Figura 11-14. Na Figura 11-14a, a corrente do emissor aumentou. Isto produziria normalmente uma maior queda de tensão sobre o resistor do emissor *R*. Porém, a corrente adicional entra numa das placas do capacitor e sai pela outra placa, conforme indicado pelas setas pontilhadas. Uma outra maneira de dizer isto é que, conforme a corrente começa a aumentar, o capacitor passa a carregar.

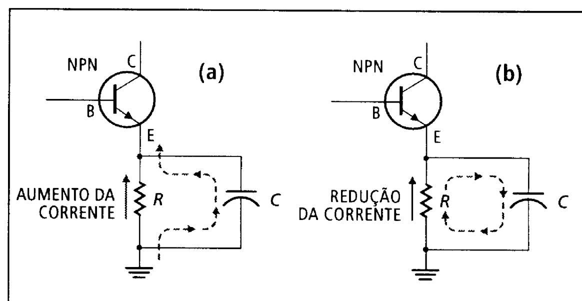


Fig. 11-14: Ação do capacitor em paralelo: (**a**) na fase de carga; (**b**) na fase de descarga.

Na Figura 11-14b a corrente do emissor diminuiu. Agora, a tensão sobre o resistor do emissor *R* começa a diminuir. Conforme a tensão diminui abaixo da tensão de *C*, o capacitor *C* descarrega. (A tensão sobre o capacitor *C* foi obtida quando o mesmo foi carregado por um aumento na corrente do emissor. Agora a corrente do emissor diminuiu. O capacitor não pode manter sua carga, de modo que ele descarrega através do resistor *R*, conforme indicado pela seta pontilhada.)

A corrente de descarga do capacitor adiciona-se à corrente do emissor, de modo que a tensão sobre o resistor permanece com o mesmo valor que a tensão sobre o resistor na Figura 11-14a.

A Figura 11-15 mostra um circuito de transistor FET com resistor de polarização. Este resistor causa degeneração, a menos que se coloque um capacitor em paralelo com o mesmo. Assim, para todos os compoentes amplificadores, neste tipo de operação, o resistor no emissor ou na fonte do transistor pode ser usado para realimentação de corrente. O resistor pode ter um capacitor em paralelo para impedir a realimentação negativa e aumentar o ganho.

Fig. 11-13: Como evitar a degeneração: (**a**) ausência de resistor de emissor; (**b**) capacitor em paralelo.

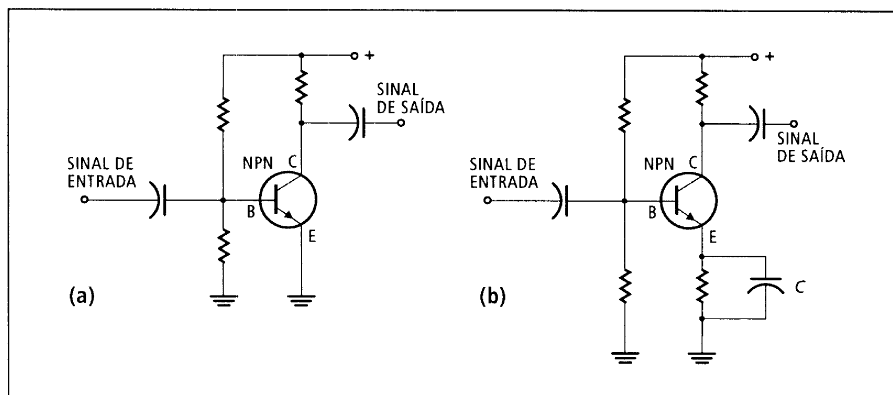
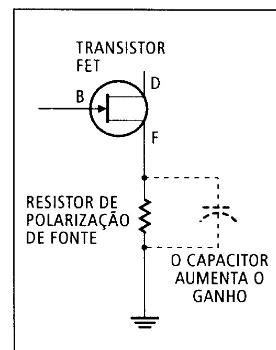


Fig. 11-15: Resistores de polarização causam realimentação negativa.



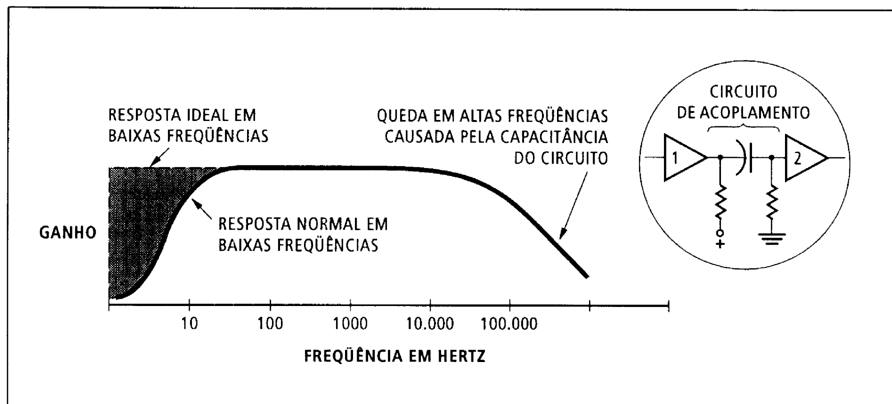


Fig. 11-16: Resposta de freqüência para amplificadores com acoplamento *RC*.

O que é Compensação de Baixa Freqüência?

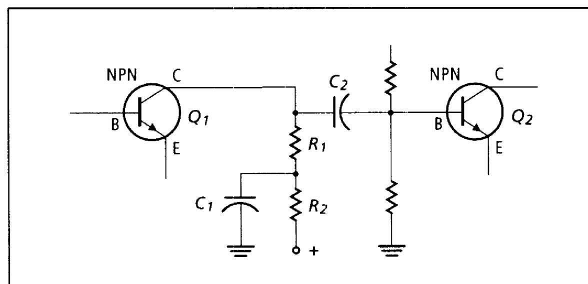
A Figura 11-16 mostra uma *curva de resposta* típica para o amplificador com acoplamento *RC*, indicado no desenho. Como todas as curvas de resposta de amplificadores, esta representa ganho em função de freqüência. É interessante observar aqui a maneira como o ganho diminui em baixas freqüências. Isto está indicado pela área sombreada. A linha pontilhada escura mostra a resposta perfeita em baixa freqüência.

O capacitor de acoplamento entre os amplificadores é a razão do ganho deficiente em baixas freqüências. A reatância (oposição) deste capacitor é muito elevada em baixas freqüências.

Uma rede de compensação de baixas freqüências aumenta o ganho em baixas freqüências neutralizando o efeito do capacitor. Isto é realizado aumentando-se o ganho do primeiro amplificador em baixas freqüências.

O ganho de um amplificador depende do valor da resistência de carga. A rede compensadora faz com que o amplificador tenha maior resistência de carga (e, conseqüentemente, maior ganho) em baixas freqüências e menor resistência de carga em altas freqüências.

Fig. 11-17: Rede de compensação em baixa freqüência.



A Figura 11-17 mostra como esta rede funciona. Neste circuito com transistores, a resistência de carga para Q_1 é o circuito de resistências em série R_1 e R_2. Em baixas freqüências, o capacitor *C* tem uma reatância tão elevada que age como um circuito aberto. Portanto, a resistência de carga é igual à soma das resistências de R_1 e R_2.

Em altas freqüências, C_1 tem uma reatância tão baixa que age como um curto-circuito. Uma vez que as altas freqüências estão em curto com a terra através de C_1, apenas R_1 é a resistência de carga para Q_1 em altas freqüências.

O resultado é que o amplificador proporciona maior ganho em baixas freqüências. Isto compensa a maior oposição de C_2 em baixas freqüências. O resultado final é que a resposta em baixas freqüências é grandemente melhorada.

RESUMO

1. A realimentação negativa não é sempre desejável. Se for necessário o maior ganho possível, é preciso eliminar a realimentação negativa.
2. Um capacitor sobre um emissor, cátodo ou resistor de fonte elimina a realimentação negativa de corrente.
3. O capacitor de acoplamento num circuito com acoplamento *RC* provoca redução do ganho em baixas freqüências.
4. Uma rede de compensação de baixa freqüência aumenta o ganho em baixas freqüências. O ganho maior compensa a perda de baixas freqüências no capacitor de acoplamento.
5. As redes de compensação de baixas freqüências são usadas em amplificadores com transistores, amplificadores com válvulas, equipamento de áudio de alta-fidelidade e equipamento de TV.

PERGUNTAS DE REVISÃO PROGRAMADA

(As instruções para o uso desta seção de revisão programada são fornecidas no Capítulo 1 / pág. 8.)

Você irá agora rever os conceitos importantes deste capítulo. Se você entendeu o material de instrução, irá progredir facilmente nesta seção. Não pule este material porque nele apresentamos também algumas informações teóricas adicionais.

1 **Qual das seguintes proposições está certa?**

A **A realimentação positiva pode ser usada em circuitos que não sejam osciladores** (passe para o item 17).
B **A realimentação positiva é usada apenas em circuitos de osciladores** (passe para o item 9).

2 *Se sua resposta para a pergunta no item 14 é B, está errada. A realimentação positiva é usada em circuitos osciladores com amplificadores operacionais, porém não em circuitos amplificadores com amplificadores operacionais.* Passe para o item 27.

3 *A resposta correta para a pergunta no item 26 é B. A realimentação negativa reduz o ganho do amplificador e aumenta também sua largura de faixa.* Aqui está a próxima pergunta:

A Figura 11-18 mostra um circuito transistorizado emissor comum simples. Qual das seguintes proposições não é um uso do resistor de emissor *R*?

A **Polarizar o transistor** (passe para o item 19).
B **Estabilizar o transistor contra mudanças de temperatura** (passe para o item 11).
C **Produzir realimentação** (passe para o item 24).

4 *Se sua resposta para a pergunta no item 27 é B, está errada. Reveja o assunto da compensação de pico e, em seguida,* passe para o item 5.

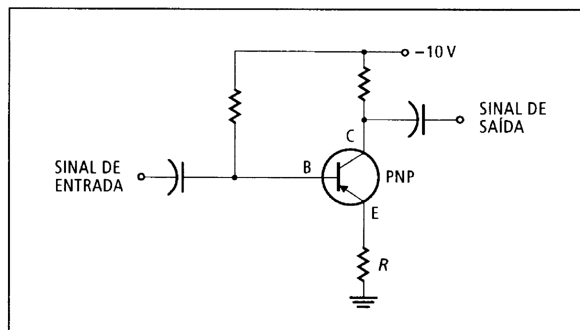


Fig. 11-18: Qual é a finalidade de *R*?

5 *A resposta correta para a pergunta no item 27 é A. As bobinas de pico ressoam com a capacitância do circuito para melhorar a resposta em alta freqüência.* Aqui está a próxima pergunta:

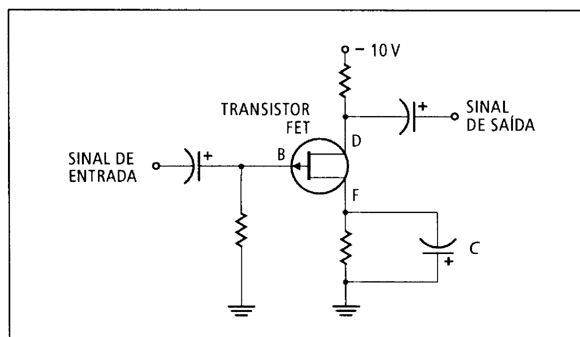
A impedância de um circuito paralelo *LC* em freqüência de ressonância é:

A **Muito elevada** (passe para o item 25).
B **Muito baixa** (passe para o item 18).

6 *Se sua resposta para a pergunta no item 23 é B, está errada. Reveja a discussão relacionada com a Figura 11-11 e, em seguida,* passe para o item 20.

7 *A resposta correta para a pergunta no item 15 é B. Com acoplamento direto, o sinal é passado de um amplificador para o outro, através de um pedaço reto de fio. Este pedaço de fio tem a melhor*

Fig. 11-19: O que ocorre com o ganho quando *C* for removido?



resposta possível em baixas freqüências. Outros métodos de acoplamento usam transformadores ou capacitores. Estes componentes, que são também conhecidos como componentes ***reativos****, tendem a opor-se em altas freqüências ou em baixas freqüências. O acoplamento direto pode ser usado com qualquer dos componentes amplificadores que você já estudou.*

É muito mais fácil acoplar diretamente transistores do que acoplar diretamente válvulas a vácuo ou transistores FET. Com transistores, o coletor e a base possuem a mesma polaridade de tensão. Nem a válvula a vácuo nem o transistor FET possuem a mesma polaridade de tensão no eletrodo de controle e no eletrodo de saída de corrente contínua. Aqui está a próxima pergunta:

Observe o circuito amplificador de áudio com transistor FET da Figura 11-19. Se o capacitor eletrolítico *C* for removido de sobre o resistor de fonte, o ganho deste estágio irá:

A **Aumentar**
(passe para o item 22).

B **Diminuir**
(passe para o item 12).

8 *Se sua resposta para a pergunta no item 20 é B, está errada. Um capacitor pode facilmente deixar passar as altas freqüências, porém apresenta grande oposição às freqüências muito baixas.* Passe para o item 15.

9 *Se sua resposta para a pergunta no item 1 é B, está errada. Apesar da realimentação positiva ser usada em circuitos osciladores, este não é seu único uso.* Passe para o item 17.

10 *Se sua resposta para a pergunta no item 19 é A, está errada. Os amplificadores de áudio* ***não*** *usam circuitos sintonizados no seus estágios de entrada ou de saída.* Passe para o item 23.

11 *Se sua resposta para a pergunta no item 3 é B, está errada. A pergunta é qual das três escolhas não é um uso adequado do resistor. O resistor é usado para estabilização da polarização contra mudanças na temperatura.* Passe para o item 19.

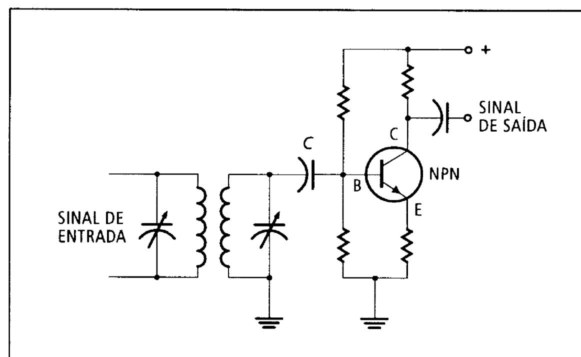


Fig. 11-20: Qual é a finalidade de *C*?

12 *A resposta correta para a pergunta no item 7 é B. Remover o capacitor de derivação significa que a tensão da fonte não terá mais um valor contínuo constante. Em vez disso, a tensão da fonte irá flutuar com a corrente de sinal. Isto irá causar degeneração ou perda de ganho.* Aqui está a próxima pergunta:

Na Figura 11-20 o capacitor *C* tem a seguinte finalidade:

A **Melhora a resposta de freqüência do amplificador**
(passe para o item 28).

B **Impede a tensão da base do transistor de ser aterrada através do enrolamento do transformador**
(passe para o item 14).

13 *Se sua resposta para a pergunta no item 17 é A, está errada. Realimentação positiva é realimentação regenerativa e não realimentação degenerativa.* Passe para o item 26.

14 *A resposta correta para a pergunta no item 12 é B. Esta resposta foi incluída para ajudá-lo a testar sua capacidade de analisar circuitos. O capacitor impede a tensão contínua de polarização na base de ser aterrada através do enrolamento secundário do transformador. Conforme alguns capacitores vão envelhecendo, tendem a apresentar vazamentos – isto é, tendem a deixar passar uma pequena quantidade de corrente contínua. Se isto ocorrer no circuito da Figura 11-20, a corrente contínua que flui através do*

capacitor irá alterar a tensão de polarização da base. Isto significa que o transistor não irá mais operar adequadamente com a tensão correta de polarização. Você deve saber isto para entender como localizar defeitos neste circuito. Aqui está a próxima pergunta:

Os amplificadores operacionais, usados como amplificadores, utilizam:

A **Realimentação negativa** (passe para o item 27).
B **Realimentação positiva** (passe para o item 2).

15 *A resposta correta para a pergunta no item 20 é A. O capacitor de acoplamento pode deixar passar freqüências mais altas; porém, não pode deixar passar as freqüências muito baixas. Isto ocorre porque a reatância de um capacitor que é a oposição do capacitor ao fluxo de corrente alternada aumenta, conforme a freqüência vai diminuindo.* Aqui está a próxima pergunta:

Qual dos seguintes métodos de acoplamento irá proporcionar a melhor resposta em baixas freqüências?

A **Acoplamento *RC*** (passe para o item 21).
B **Acoplamento direto** (passe para o item 7).

16 *Se sua resposta para a pergunta no item 26 é A, está errada. A realimentação positiva é usada para aumentar o ganho de um amplificador. Quando você aumenta o ganho de um amplificador, diminui sua largura de faixa.* Passe para o item 3.

17 *A resposta correta para a pergunta no item 1 é A. A realimentação positiva pode ser usada para aumentar o ganho de um amplificador. Isto é realizado em alguns circuitos amplificadores de alta freqüência.* Aqui está a próxima pergunta:

Um outro nome para degeneração é:

A **Realimentação positiva** (passe para o item 13).
B **Realimentação negativa** (passe para o item 26).

18 *Se sua resposta para a pergunta no item 5 é B, está errada.* Passe para o item 25.

19 *A resposta correta para a pergunta no item 3 é A. Das três escolhas indicadas, a polarização é a única que não constitui um uso adequado do resistor R na Figura 11-18. Este resistor de emissor é, às vezes, confundido com o resistor de cátodo de um circuito de válvulas ou o resistor de fonte num circuito com transistores FET. Nestes casos, o resistor é utilizado para produzir polarização. Porém, para transistores, isto simplesmente não irá funcionar. O resistor R não é um resistor de polarização.* Aqui está a próxima pergunta:

Um certo amplificador com transistores FET possui um circuito sintonizado no circuito de dreno. Isto geralmente indica que o amplificador é:

A **Um amplificador de áudio** (passe para o item 10).
B **Um amplificador de rádio-freqüência** (passe para o item 23).

20 *A resposta correta para a pergunta no item 23 é A. Um resistor de cátodo produz realimentação de corrente. Um resistor de emissor num circuito com transistor bipolar e um resistor de fonte num circuito com transistor FET também produzem realimentação de corrente. Isto é realimentação negativa. Reduz o ganho do estágio e aumenta sua largura de faixa.*
Aqui está a próxima pergunta:

Num circuito amplificador com acoplamento *RC*, o capacitor de acoplamento proporciona:

A **Resposta fraca em baixas freqüências** (passe para o item 15).
B **Resposta fraca em altas freqüências** (passe para o item 8).

21 *Se sua resposta para a pergunta no item 15 é A, está errada. O acoplamento RC produz resposta fraca em freqüências muito baixas porque o capacitor de acoplamento não pode deixar passar corrente contínua e freqüências muito baixas.* Passe para o item 7.

22 *Se sua resposta para a pergunta no item 7 é A, está errada. A finalidade do capacitor é evitar degeneração – isto é, impedir a perda de ganho causada por realimentação de corrente. Se o capacitor for retirado, irá ocorrer realimentação negativa de corrente e o ganho deste estágio irá diminuir.*

Não importa se este resistor estiver no circuito de cátodo de uma válvula a vácuo, no circuito de emissor de um transistor ou no circuito de fonte de um transistor FET. Em todos os casos, o capacitor de desacoplamento irá aumentar o ganho. A remoção do capacitor em paralelo irá sempre reduzir o ganho. Você irá demonstrar este ponto na seção de experiências.
Passe para o item 12.

23 *A resposta correta para a pergunta no item 19 é B. Circuitos sintonizados são usados para permitir que uma rádio-freqüência ou uma faixa estreita de rádio-freqüências possa passar através do estágio amplificador. Ao mesmo tempo, impedem todas as outras rádio-freqüências de passar.* Aqui está a próxima pergunta:

Um resistor sem desacoplamento no cátodo de um amplificador a válvulas irá produzir:

[A] **Realimentação de corrente** (passe para o item 20).
[B] **Realimentação de tensão** (passe para o item 6).

24 *Se sua resposta para a pergunta no item 3 é C, está errada. A pergunta é qual das três escolhas não é um uso do resistor R no circuito de emissor da Figura 11-18. Este resistor é usado para produzir realimentação.* Passe para o item 19.

25 *A resposta correta para a pergunta no item 5 é A. É muito importante lembrar que um circuito LC em série possui uma impedância muito baixa em freqüência de ressonância. Em contraste, a impedância de um circuito LC em paralelo é muito alta em ressonância.* Aqui está a próxima pergunta:

A Figura 11-21 mostra uma bobina de pico enrolada sobre um resistor. O ohmômetro mede a resistência. Se a bobina de pico estiver boa, a resistência será alta ou baixa?

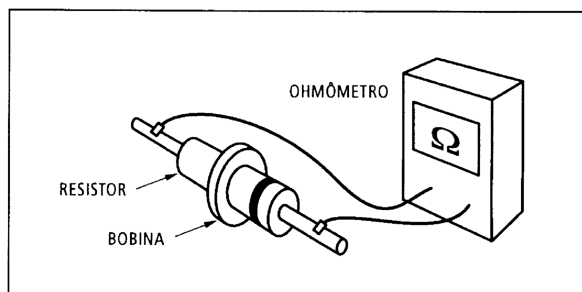


Fig. 11-21: A resistência deve ser alta ou baixa?

....

Passe para o item 29.

26 *A resposta correta para a pergunta no item 17 é B. Realimentação negativa é o mesmo que realimentação degenerativa. A degeneração é o resultado de realimentação negativa.* Aqui está a próxima pergunta:

Para aumentar a largura de faixa de um amplificador, você usaria:

[A] **Realimentação positiva** (passe para o item 16).
[B] **Realimentação negativa** (passe para o item 3).

27 *A resposta correta para a pergunta no item 14 é A. A realimentação negativa de tensão reduz o ganho, porém aumenta a faixa de freqüências que podem ser amplificadas.* Aqui está a próxima pergunta:

A compensação de pico é usada para melhorar:

[A] **A resposta em altas freqüências** (passe para o item 5).
[B] **A resposta em baixas freqüências** (passe para o item 4).

28 *Se esta resposta para a pergunta no item 12 é A, está errada. O capacitor C na Figura 11-20 não melhora a resposta de freqüência.*
Passe para o item 14.

29 *A resposta para a pergunta no item 25 é baixa. A bobina é feita de fio cuja resistência em corrente contínua é muito pequena. Você poderá lembrar que, quando resistores são ligados em paralelo, a resistência da combinação deve ser inferior ao valor menor da resistência.*

A bobina de pico é, de fato, uma bobina em paralelo com um resistor. A resistência da bobina é muito pequena e a resistência em paralelo é ainda menor que o resistor.

Você completou agora as perguntas de revisão programada. O passo seguinte é pôr algumas destas idéias em prática, em experiências de laboratório. Passe para a seção de experiências deste capítulo.

Fig. 11-22: Provadores de componentes: (a) osciloscópio; (b) provador de transistores e capacímetro. *(Cortesia de Hewlett Packard - HP).*

EXPERIÊNCIAS

(As experiências descritas nesta seção podem ser realizadas na placa de circuitos descrita no Anexo C ou numa montagem de laboratório similar.)

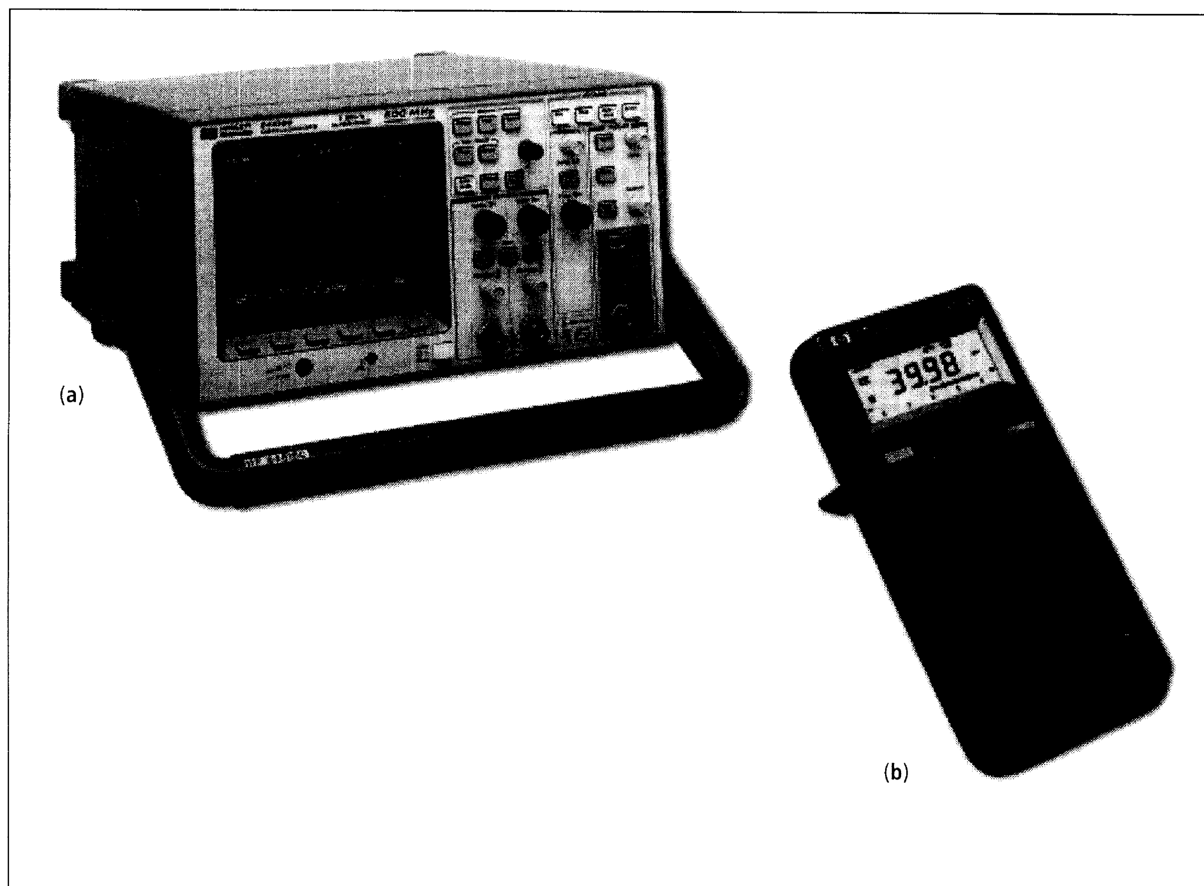
■ FINALIDADE

Nesta experiência você irá demonstrar como é formado um módulo eletrônico (ou unidade eletrônica) pela combinação de circuitos.

Você irá também mostrar o efeito da realimentação negativa de corrente sobre o ganho de um amplificador.

■ TEORIA

Como técnico que procura localizar um defeito num circuito eletrônico, você tem escolher seus instrumentos e procedimentos de teste. Você ficará surpreso



ao aprender que nem todos os técnicos usam exatamente os mesmos instrumentos e procedimentos.

Existe uma ampla diferença de opinião acerca de qual o melhor método para *localização de defeitos* – isto é, a localização de uma falha num sistema. Alguns técnicos preferem começar com um teste dos componentes. Existem muitos aparelhos de teste de componentes. Três exemplos estão indicados na Figura 11-22.

A Figura 11-22a mostra um típico modelo de *osciloscópio*. Este é um instrumento universalmente empregado na observação e análise das formas-de-onda produzidas pelos mais diversos tipos de circuitos e aparelhos eletrônicos. Pela observação da forma-de-onda, é possível determinar o comportamento de um circuito.

O osciloscópio é um instrumento quase que imprescindível nos trabalhos de reparação de equipamentos eletrônicos industriais e de entretenimento.

A Figura 11-22b mostra um exemplo de *provador de transistores*. Existem dois tipos de provadores de transistores, porém ambos podem ser incorporados no mesmo instrumento. Um é chamado *provador fora de circuito*. Ele verifica o transistor quanto a ganho e ruído. O segundo tipo é o *provador no circuito*. Este tipo de provador de transistores geralmente testa apenas o transistor para ver se o mesmo pode amplificar. É um instrumento muito útil porque os transistores, em muitos circuitos, são soldados numa placa de circuito impresso. É um serviço muito demorado soldar os transistores na placa para testá-los.

A Figura 11-22c mostra um terceiro tipo de provador de componentes chamado *provador de capacitores*. Este provador verifica o valor da capacitância e as fugas *dielétricas* – isto é, a quantidade de corrente contínua que flui através do dielétrico do capacitor.

Muitos técnicos preferem fazer uma série de verificações na bancada com o equipamento de teste, como primeiro passo na localização de defeitos. Realizam provas de componentes somente depois de restringir o campo do problema a uma certa área de circuito.

Nesta experiência, você irá montar uma fonte de alimentação, um oscilador de circuito integrado e um amplificador de tensão. No Capítulo 9, você construiu um circuito semelhante. O conjunto completo pode ser chamado *módulo*, e pode ser definido como uma combinação de circuitos eletrônicos básicos. O termo *unidade* é também usado para o circuito completo. Uma combinação de módulos é chamada de *sistema*.

Você irá achar que é quase impossível não fazer um erro se tentar realizar todas as ligações do módulo antes do teste. Uma conexão errada pode desativar o módulo inteiro. Uma abordagem mais lógica seria montar um circuito de cada vez e testá-lo antes de ligá-lo aos outros circuitos. Este é o procedimento que será usado aqui e que foi usado no Capítulo 9.

Na primeira parte, você irá montar a fonte de alimentação. Este é o coração de qualquer sistema eletrônico e deve produzir as tensões corretas ou o sistema não irá funcionar. As tensões da fonte de alimentação devem ser reverificadas toda vez que você ligar um circuito adicional à fonte de alimentação. Se a regulagem da fonte de alimentação for deficiente, a tensão irá diminuir, conforme mais circuitos adicionais forem ligados. A tensão pode, de fato, diminuir até o ponto onde não pode mais energizar os circuitos individuais. Por isto é preciso realizar esta verificação, toda vez que você adicionar um circuito em seu módulo.

Na segunda parte desta experiência, você irá montar um oscilador com circuito integrado. Em seguida, irá ligar este oscilador à fonte de alimentação.

Na terceira parte desta experiência, você irá montar um amplificador transistorizado simples. Este amplificador usa polarização simples. O transistor não será operado perto de sua capacidade máxima. De fato, o ganho deste amplificador é, propositadamente, muito baixo se for introduzida bastante realimentação negativa. Você irá ligar a saída do circuito oscilador no amplificador e comparar os sinais de saída com ou sem realimentação negativa.

PRIMEIRA PARTE

■ MONTAGEM DO TESTE

A Figura 11-23 mostra o circuito da fonte de alimentação. A Figura 11-23a, mostra a montagem do teste e a Figura 11-23b mostra o desenho chapeado. Esta fonte de alimentação utiliza um circuito retificador de ponte. É ligado sobre as duas extremidades do secundário do transformador de potência de 12,6 volts. A derivação central é ligada a um alimentador comum. Com esta ligação, uma extremidade da saída é positiva e a outra negativa. O ponto comum está a uma tensão no meio do intervalo dos valores da tensão positiva e negativa. Em outras palavras, o ponto comum está em 0 volt.

Os resistores R_a e R_b formam um divisor de tensão entre as tensões positiva e negativa. Observe que a junção destes dois resistores está ligada ao ponto comum (massa) para todo o circuito. Os capacitores eletrolíticos C_a e C_b são usados para filtrar a tensão de saída da fonte de alimentação.

■ PROCEDIMENTO

☐ *Etapa 1:* Montar a fonte de alimentação indicada na Figura 11-23.

☐ *Etapa 2:* Energizar o circuito, fechando o interruptor *S*.

☐ *Etapa 3:* Medir a tensão de saída +9 volts em relação à massa. Para isto, o terminal de massa de seu voltímetro deverá ser ligado ao ponto comum (massa) do circuito e o terminal positivo será ligado ao ponto +9 volts. A tensão de saída deve ser de aproximadamente 9 volts. Anote aqui o valor da tensão.

....volts

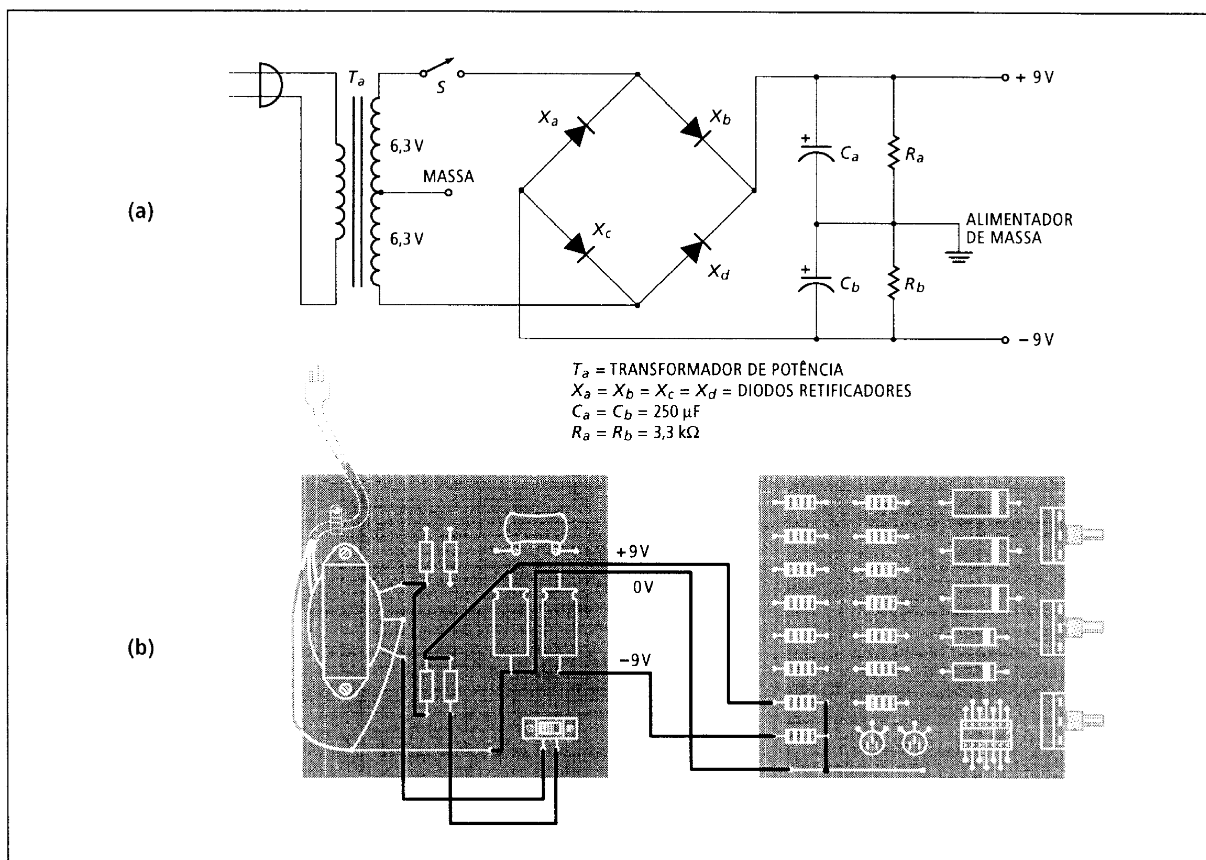
Se o valor medido não for de cerca de +9 volts, desligue imediatamente o interruptor *S* e verifique cuidadosamente suas ligações.

O valor exato da tensão depende de um certo número de fatores tais como o valor da queda de tensão sobre os diodos e a tensão da linha. É por isso que dizemos que a tensão deve ser em torno de +9 volts, em vez de fixar um valor exato. Porém, o valor deve ser na faixa de 8-10 volts.

☐ *Etapa 4:* Medir a saída –9 volts da fonte de alimentação, em relação à massa. Se você tiver uma chave de polaridade no seu voltímetro, o terminal de massa de seu voltímetro será ligado ao ponto comum (massa) no circuito. A chave de polaridade deve estar na posição negativa. A tensão será tomada em relação ao terminal –9 volts. Se seu voltímetro não tiver uma chave de polaridade, então a tensão –9 volts deverá ser medida ligando o terminal de massa ao terminal –9 volts e o terminal positivo ao ponto comum (massa). Anote aqui o valor da tensão.

....volts

Fig. 11-23: Fonte de alimentação com tensão positiva e negativa: (**a**) montagem do teste; (**b**) diagrama chapeado.



Se o valor medido não for de cerca de –9 volts, *desligue* imediatamente o interruptor *S* e verifique cuidadosamente suas ligações.

☐ *Etapa 5:* Qual é o valor da tensão que você espera obter entre os terminais de –9 volts e +9 volts?

.... **volts**

Deveria haver uma diferença de 18 volts. Para medir esta tensão, ligar o terminal de massa ou terminal negativo do voltímetro ao terminal –9 volts e o terminal positivo do voltímetro ao terminal +9 volts. Medir e anotar o valor da tensão aqui.

....

SEGUNDA PARTE

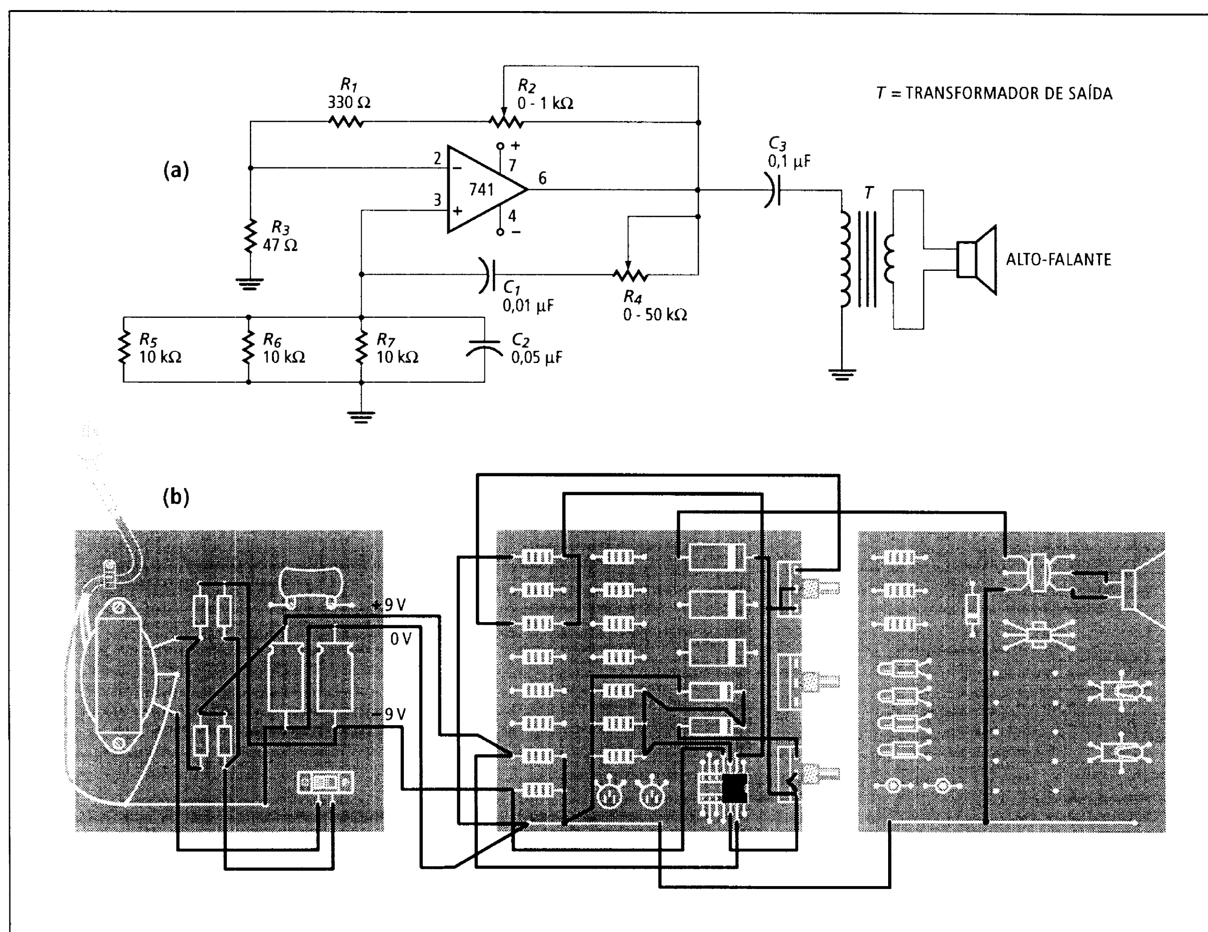
■ MONTAGEM DO TESTE

Depois de realizadas as ligações na fonte de alimentação, o passo seguinte consiste em realizar as ligações do circuito oscilador. Este circuito está indicado na Figura 11-24. A Figura 11-24a mostra o diagrama esquemático e a Figura 11-24b mostra o desenho chapeado. Você montou um circuito semelhante no Capítulo 10. A realimentação positiva vai do pino 6 ao pino 3. Os resistores R_1 e R_2 proporcionam realimentação alternada negativa. Isto controla o ganho.

■ PROCEDIMENTO

☐ *Etapa 1:* Realizar as ligações do circuito oscilador, conforme indicado na Figura 11-24.

Fig. 11-24: Oscilador com amplificador operacional: (**a**) montagem do teste; (**b**) diagrama chapeado.



Sempre desligar a fonte de alimentação, antes de ligar os circuitos.



☐ *Etapa 2:* Ligar o terminal de tensão positiva (pino 7) do circuito integrado ao terminal +9 volts da fonte de alimentação.

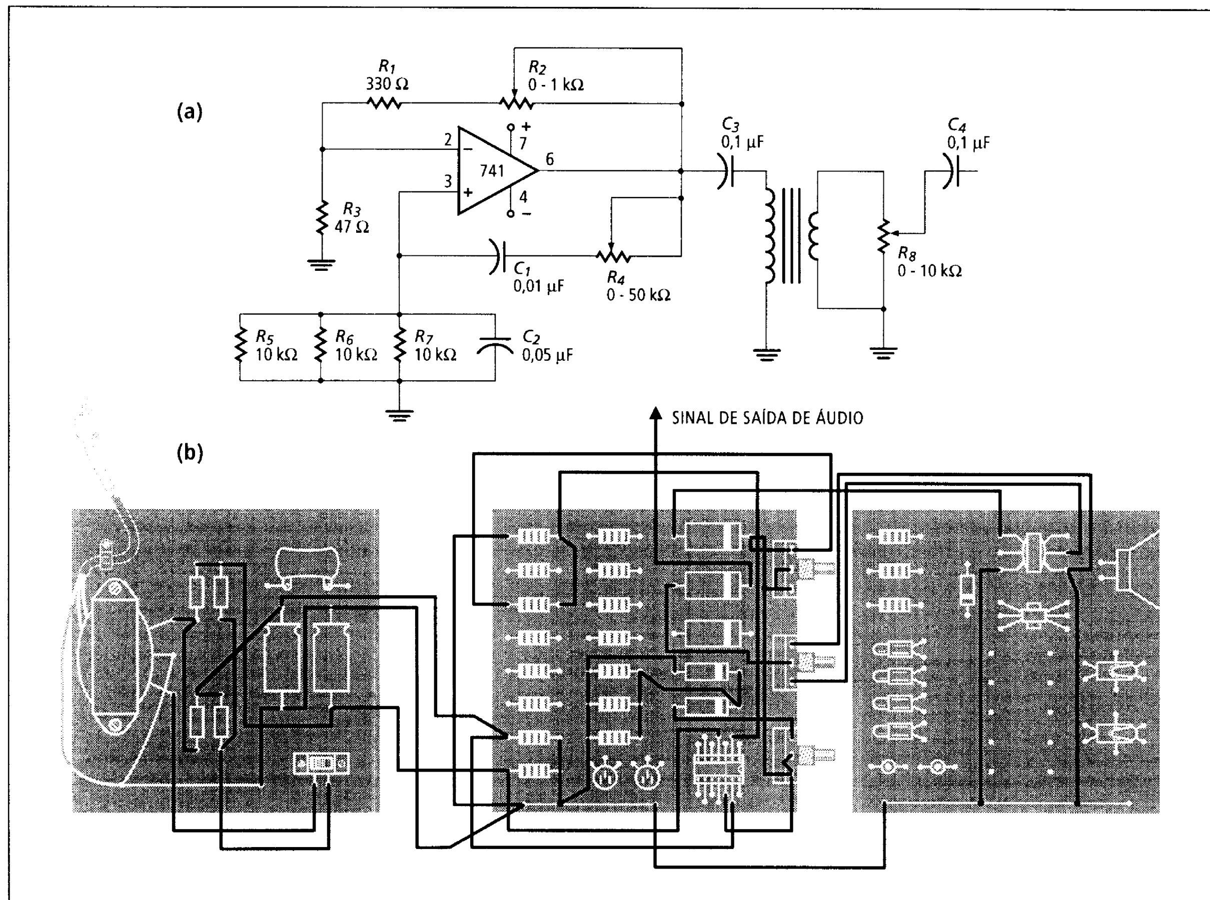
☐ *Etapa 3:* Ligar o terminal da tensão negativa (pino 4) do circuito integrado ao terminal –9 volts da fonte de alimentação. Certifique-se de que os pontos de massa indicados no circuito oscilador sejam ligados aos pontos de massa (alimentador) do circuito da fonte de alimentação.

☐ *Etapa 4:* Medir as tensões positiva e negativa da fonte de alimentação com o circuito oscilador ligado e energizado. As tensões devem ter aproximadamente os mesmos valores que aqueles medidos nas Etapas 3 e 4 da primeira parte. (Não deve haver uma alteração superior a 10 por cento nos valores da tensão quando o oscilador estiver ligado.)

☐ *Etapa 5:* Com o circuito ligado corretamente, você deve ouvir um som de saída no alto-falante quando fecha o interruptor *S*. Não será um som alto em volume porque o amplificador operacional 741 não é um amplificador de potência.

Agora, um ponto muito importante: se o oscilador não estiver funcionando, o problema *deve estar no circuito da Figura 11-24*. Não pode ser na fonte de alimentação porque você já ligou corretamente o circuito da fonte de alimentação e mediu a tensão de saída com o oscilador ligado. A falha deve estar num componente defeituoso ou em um erro de ligação.

Fig. 11-25: Oscilador com tensão de saída ajustável: (**a**) montagem do teste; (**b**) diagrama chapeado.



☐ *Etapa 6:* Ajustar R_4 para obter um som na faixa média de áudio.

☐ *Etapa 7:* Revisar o circuito, conforme indicado na Figura 11-25. A Figura 11-25a mostra a montagem do teste e a Figura 11-25b mostra o desenho chapeado. O resistor variável R_8 e o capacitor C_4 substituem o alto-falante na Figura 11-24. O oscilador produz uma tensão de sinal de saída de áudio: o valor da tensão de sinal é ajustável pelo resistor R_8. Você irá usar este oscilador para injetar um sinal num amplificador na próxima parte desta experiência.

TERCEIRA PARTE

■ MONTAGEM DO TESTE

A Figura 11-26 mostra o circuito amplificador. A Figura 11-26a mostra a montagem do teste e a Figura 11-26b mostra o desenho chapeado.

■ PROCEDIMENTO

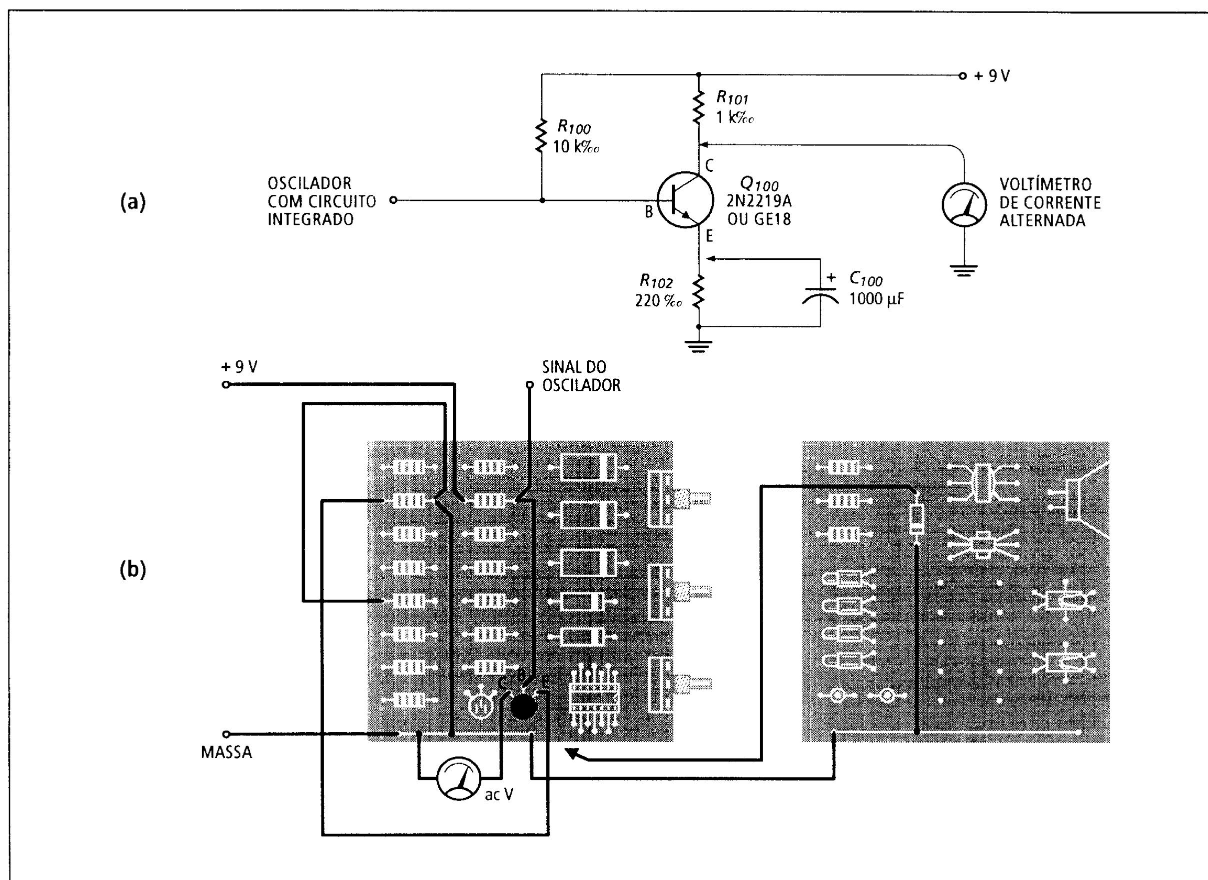
☐ *Etapa 1:* Realizar as ligações, conforme indicado na Figura 11-26. Não ligue agora o sinal do oscilador, mas ligue a fonte de alimentação, conforme indicado.

☐ *Etapa 2:* Medir a tensão contínua da massa para o coletor do transistor. Esta tensão deve ser inferior a +9 volts. Anote aqui o valor da tensão.

.... **volts**

Este valor deve ser inferior a 9 volts, porque há uma queda de tensão sobre o resistor R_{101} – o resistor do coletor – durante a operação normal do amplificador. Se não ocorrer esta queda de tensão, isto significa que o transistor não está conduzindo e o amplificador não irá funcionar.

Fig. 11-26: Circuito amplificador: (**a**) montagem do teste; (**b**) diagrama chapeado.



☐ *Etapa 3:* Ligar a saída do capacitor C_4 da Figura 11-25 à entrada na base do circuito amplificador. Você injetou agora um sinal de corrente alternada no amplificador. O voltímetro de corrente alternada ligado entre o coletor e a massa mede a tensão de saída do amplificador.

☐ *Etapa 4:* Ajustar o resistor variável R_8 no circuito da Figura 11-25 para obter cerca de 1,5 volts de tensão de sinal de corrente alternada no coletor do amplificador. (O capacitor C_{100} está agora ligado.)

☐ *Etapa 5:* Desligar momentaneamente o capacitor C_{100} sobre o resistor do emissor R_{100}. Isto altera a tenão alternada no coletor?

.... **Sim ou Não**

Se você realizou corretamente as ligações do circuito e o mesmo estiver operando adequadamente, o desligamento de C_{100} deve reduzir a tensão alternada do coletor. Sem o capacitor haverá uma degeneração (realimentação negativa). A perda de ganho é aparente porque a tensão alternada no coletor diminuirá quando o capacitor for removido.

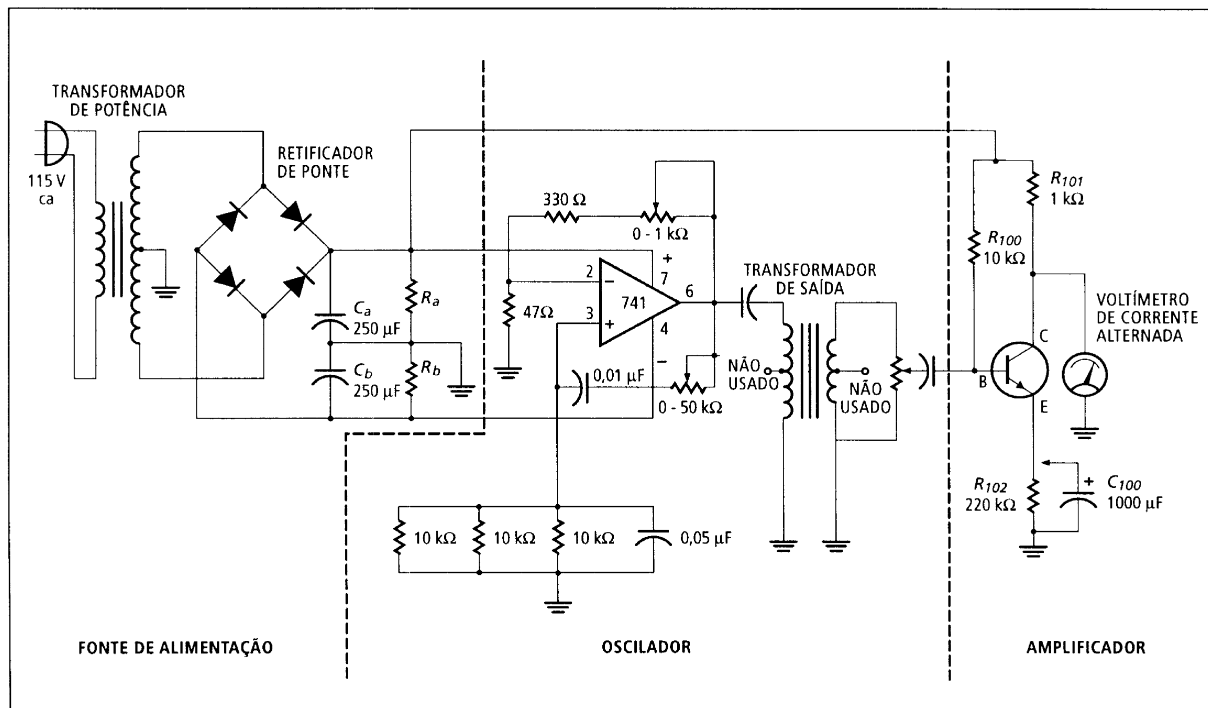
■ CONCLUSÕES

Você demonstrou que um módulo eletrônico inclui um certo número de circuitos eletrônicos individuais. A Figura 11-27 mostra o módulo eletrônico completo com linhas pontilhadas separando os circuitos. Estes circuitos foram montados e testados individualmente e, em seguida, unidos para formar o módulo completo.

O procedimento de teste que um técnico usa para verificar este circuito é muito semelhante àquele que você usou. Este procedimento consiste em verificar cada circuito individual, um de cada vez. O ponto inicial consiste em verificar a fonte de alimentação. Esta é sempre uma boa prática porque, se a fonte de alimentação não estiver operando corretamente, nenhum dos outros circuitos poderá funcionar.

Você aprendeu também que a degeneração (realimentação negativa) num amplificador pode ser evitada ligando um capacitor sobre o resistor do emissor (do cátodo ou da fonte). Este capacitor mantém o emissor num valor contínuo constante, aumentando assim o sinal de saída do amplificador.

Fig. 11-27: Módulo eletrônico completo com linhas pontilhadas separando os circuitos.



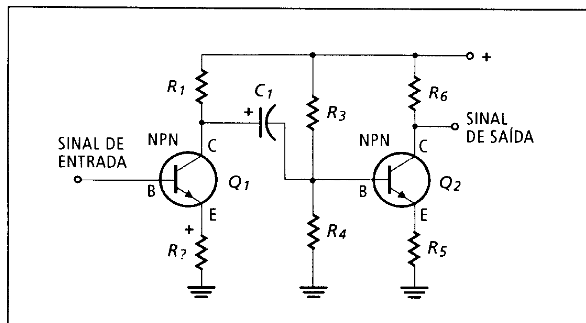


Fig. 11-28: Amplificadores com acoplamento *RC*.

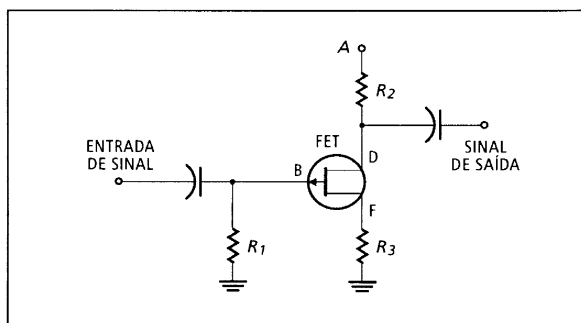


Fig. 11-29: Amplificador com transistor FET.

AUTOTESTE COM RESPOSTAS

(As respostas com discussões encontram-se no final do capítulo / pág.248.)

1. A Figura 11-28 mostra amplificadores com acoplamento *RC*. Fracas respostas em baixas freqüências neste circuito podem ser causadas por:

(a) C_1;

(b) R_3 e R_4;

(c) R_1;

(d) R_5.

2. No circuito da Figura 11-28, o ganho seria aumentado

(a) aumentando a capacitância de C_1;

(b) aumentando a resistência de R_2;

(c) aumentando a resistência de R_5;

(d) ligando um capacitor sobre R_5.

3. Bobinas de pico são usadas no acoplamento de circuitos para

(a) aumentar a resposta em baixas freqüências;

(b) aumentar a resposta em médias freqüências;

(c) aumentar a resposta em altas freqüências;

(d) remover as freqüências de ondulação da saída do amplificador.

4. A realimentação positiva num amplificador

(a) é também chamada realimentação degenerativa;

(b) é usada apenas para produzir oscilações;

(c) é usada apenas para aumentar o ganho do amplificador;

(d) é usada ou para aumentar o ganho ou para produzir oscilações conforme desejado.

5. Duas tensões senoidais possuem a mesma freqüência, porém estão defasadas em 180° uma em relação à outra. Cada uma possui uma amplitude de 10 volts. Se estas tensões forem somadas, o resultado seria

(a) 20 volts;

(b) 0 volt.

6. No circuito da Figura 11-29

(a) não existe qualquer polarização;

(b) não existe qualquer realimentação;

(c) existe uma realimentação positiva de tensão;

(d) existe uma realimentação negativa de corrente.

7. No circuito da Figura 11-29 a tensão contínua no ponto A deve ser

(a) negativa com relação à terra;

(b) positiva com relação à terra.

8. Qual dos seguintes tipos de circuitos de acoplamento teria maior probabilidade de ter uma rede de compensação de baixa freqüência?

(a) acoplamento direto;

(b) acoplamento *RC*;

(c) acoplamento por transformador;

(d) acoplamento de realimentação.

9. Um circuito ressonante *LC* em série possui

(a) baixa impedância;

(b) alta impedância.

RESPOSTAS DO AUTOTESTE

1. (a) - Os resistores R_3 e R_4 formam um divisor de tensão para a polarização de Q_2. O resistor de carga do coletor para Q_1 é R_1 e R_5 é um resistor de estabilização do emissor.

2. (d) - Aumentar a capacitância de C_1 iria apenas aumentar o ganho em freqüências muito baixas mas não em freqüências médias ou em altas freqüências. Aumentar a resistência de R_2 ou R_5 iria diminuir o ganho.

3. (c)

4. (d) - A realimentação positiva é também chamada realimentação regenerativa.

5. (b) - Quando as formas-de-onda estão defasadas em 180°, subtraem-se. Isto está indicado na Figura 11-9b (pág. 230). Se suas amplitudes forem iguais, irão cancelar-se e o resultado é 0 volt.

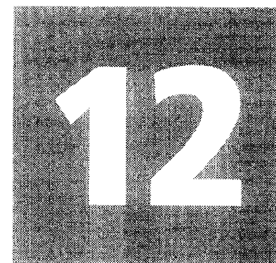
6. (d) - O resistor de fonte R_3 polariza o transistor FET. O fato de não ter um capacitor em paralelo significa que há uma realimentação negativa de corrente.

7. (a) - O transistor FET é do tipo canal P, de modo que é necessária uma tensão negativa de dreno.

8. (b) - Não existe acoplamento de realimentação. Dos outros tipos mencionados, o acoplamento *RC* é a única resposta correta.

9. (a).

Como funcionam os Transmissores e os Receptores?



INTRODUÇÃO

A maioria dos primeiros desenvolvimentos em eletrônica destinava-se, principalmente, ao envio e recepção de sinais de comunicação. Muito tempo foi despendido para aumentar a *sensibilidade* dos receptores (a sensibilidade é a medida da capacidade do receptor de receber bem os sinais).

A primeira válvula triodo, chamada *áudio,* desenvolvida por Lee DeForest, constituiu uma conquista importante no sentido de uma melhora significativa da sensibilidade do receptor. Tornou possível a amplificação de sinais fracos, melhorando assim, a recepção a longa distância.

Uma vez inventada a válvula triodo e a idéia de amplificação firmemente estabelecida, outros tipos de válvulas amplificadoras a vácuo entraram em cena. Elas incluíam os tetrodos e os pentodos que são válvulas amplificadoras mais eficientes, em muitas aplicações. Até o final da década de 40, constituíam os únicos amplificadores em alta freqüência. Os transistores apareceram em 1948, seguidos pelos transistores FET (transistores com efeito de campo), pouco tempo depois. Toda vez que um novo dispositivo amplificador era descoberto, apareciam imediatamente aplicações nos sistemas de comunicação.

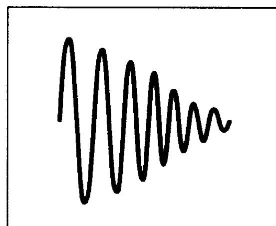


Fig. 12-1: Onda amortecida usada nos primeiros sistemas de rádio.

Antes da invenção da válvula amplificadora a vácuo, os primeiros transmissores utilizavam um sistema de transmissão por faiscamento. Este consistia simplesmente da formação de faíscas na abertura de dois eletrodos submetidos a uma alta-tensão. A Figura 12-1 mostra o tipo de onda amortecida produzida pela transmissão por faiscamento. Começa com uma onda senoidal de grande amplitude e a cada ciclo sucessivo adquire uma amplitude menor. Existem duas desvantagens principais em usar ondas amortecidas para comunicações. A primeira é que existe uma ampla faixa de freqüência de transmissão. Você já deve ter observado como um carro passando em frente à sua casa produz interferência em seu aparelho de televisão. Cada vela num automóvel é um transmissor de ondas amortecidas, com os cabos de ignição funcionando como antenas. Já que estas ondas possuem um tão amplo espectro de frequências, podem interferir em seu aparelho de televisão ou em seu receptor de rádio.

Uma segunda desvantagem da onda amortecida é o fato de que pode ser usada apenas para transmissão em código Morse de onda contínua. É completamente inadequada para transmitir a voz ou os sinais de televisão.

Hoje em dia, as ondas amortecidas, como método de comunicação, foram postas fora da lei por acordo internacional. Já faz muito tempo que estes primeiros transmissores foram substituídos. Os modernos transmissores e receptores são sintonizados com muita precisão, para evitar interferência entre estações operando em freqüências diferentes.

Depois de estudar este capítulo, você poderá responder às seguintes perguntas:

- **Quais são as seções de um transmissor de onda contínua?**
- **O que são os gráficos de domínio de freqüência e domínio de tempo?**
- **Quais são os tipos de transmissão usados em sistemas de rádio?**
- **Quais são as seções de um transmissor de rádio AM?**
- **Quais são as seções de um transmissor de rádio FM?**
- **Quais são as seções básicas de um receptor de rádio?**
- **O que é um receptor de AM super-heteródino?**
- **O que é um receptor de FM super-heteródino?**

INSTRUÇÃO

Quais são as seções de um Transmissor de Onda Contínua?

Um transmissor de onda contínua produz ondas contínuas ininterruptas. Observe que estas ondas não são amortecidas. Elas são usadas para transmissão em código Morse. Este é o tipo mais simples de transmissor e seus componentes básicos estão indicados na Figura 12-2. O oscilador produz uma freqüência de onda senoidal na faixa de rádio-freqüências. Esta freqüência é chamada *portadora*. Em muitos transmissores, o oscilador pode ser seguido por *multiplicadores de freqüência* que aumentam a freqüência do oscilador. Isto permite a operação do oscilador em uma freqüência mais baixa, onde ele é mais estável.

Uma chave telegráfica interrompe o sinal do oscilador no ponto em que é transmitido ao amplificador de tensão. Pelo uso desta chave telegráfica é possível transmitir uma série de pontos e de traços relacionados com o código Morse.

O amplificador de tensão transmite o sinal codificado para o amplificador de potência. A maioria dos amplificadores de potência deve ser precedida por algum tipo de amplificador de tensão, pois são necessárias mudanças importantes da tensão de entrada para operar o amplificador de potência. O amplificador de potência fornece um sinal de rádio-freqüência para a antena, através da qual este sinal é irradiado. Uma fonte de alimentação é necessária no circuito de um transmissor de onda contínua. Esta pode ser uma bateria ou uma fonte de alimentação eletrônica. Quanto maior a potência irradiada pela antena, maior será a potência exigida da fonte de alimentação.

Fig. 12-2: Transmissor de onda contínua.

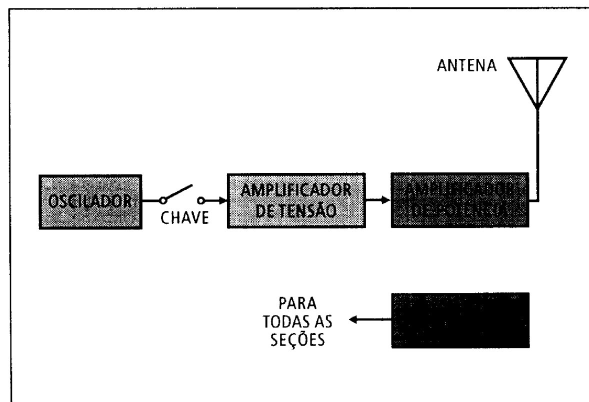
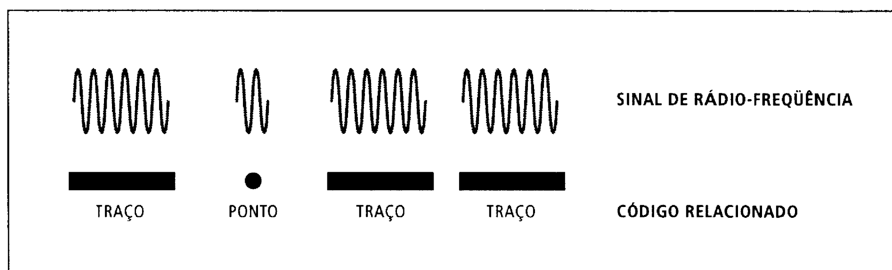


Fig. 12-3: Sinal de uma onda contínua (código Morse) para a letra L.



O que é um Sinal de Onda Contínua?

A Figura 12-3 mostra como a onda contínua é interrompida para produzir pontos e traços para representar a letra L em código Morse. Esta ilustração não está desenhada na escala. Se a freqüência do sinal de rádio-freqüência for de 5 megahertz e um traço leva 0,5 segundo, precisaríamos de 2,5 milhões de ciclos de onda senoidal para representar o traço. Obviamente isto não pode ser feito na ilustração de um livro já que as ondas senoidais na Figura 12-3 representam apenas o sinal de rádio-freqüência.

Cada letra do alfabeto, cada número e cada sinal de pontuação possuem seu próprio código individual. Apesar de o código Morse ser um dos primeiros métodos usados para transmissão de *informação*, é ainda usado hoje (a palavra *informação* refere-se à mensagem sendo transmitida através das comunicações).

O que é um Modulador ?

A palavra *modulação* significa a combinação de duas ondas de tal forma que uma delas controla uma característica da outra. Por exemplo, se a onda de informação (áudio) controla a amplitude do sinal de rádio-freqüência (ou onda portadora) você tem uma amplitude modulada (ou AM). Veja a Figura 12-4.

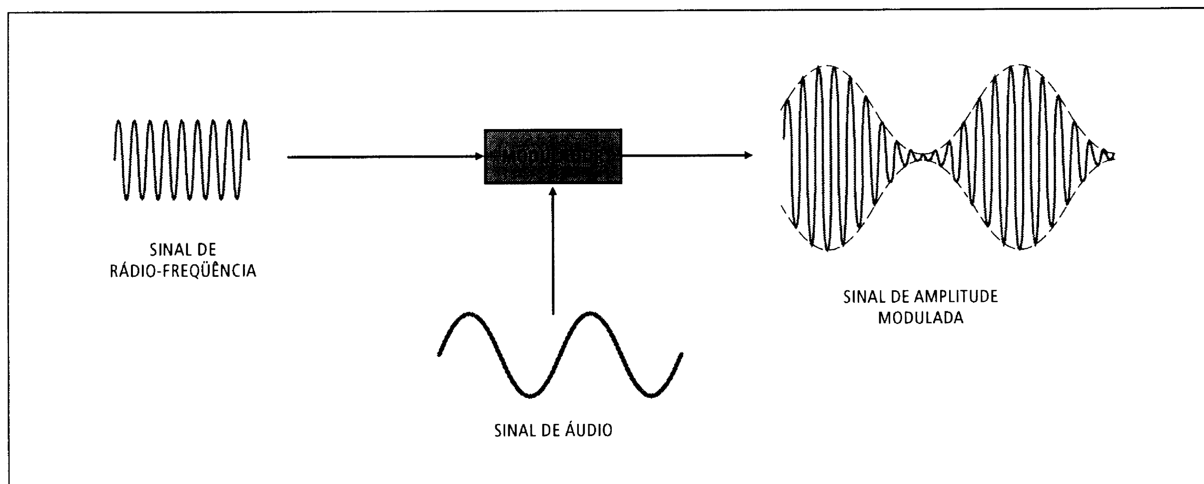
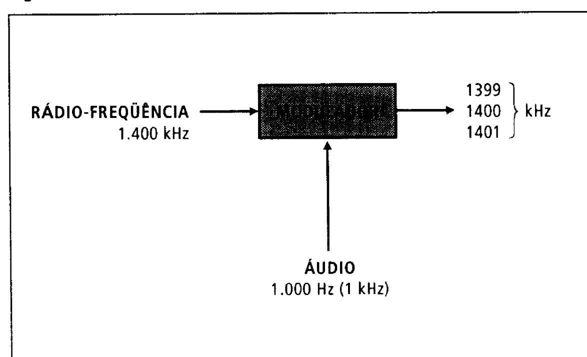


Fig. 12-4: O modulador combina os sinais de rádio-freqüência e de áudio.

Observe que a amplitude do sinal modulado aumenta e diminui numa freqüência de áudio. As linhas pontilhadas na periferia externa do sinal de amplitude modulada representam na realidade o sinal de áudio sendo transmitido. É importante notar que dois sinais de áudio estão presentes: um na parte superior da onda modulada e outro na parte inferior. O perfil da onda modulada é chamado *envelope de modulação*. Para poder combinar um sinal de rádio-freqüência com um sinal de áudio, conforme indicado na Figura 12-4, é necessário que o circuito modulador seja *não-linear*. Por exemplo, se você tentar combinar um sinal de rádio-freqüência com um sinal de áudio num resistor linear, você não irá obter modulação.

Se você tiver o circuito modulador adequado, a combinação de um sinal de áudio e um sinal de rádio-freqüência produzem um certo número de freqüências de saída. A Figura 12-5 mostra um exemplo. Um sinal de rádio-freqüência de 1.400 kilohertz está sendo modulado por um sinal de áudio de 1.000 hertz. Quando os dois sinais são combinados para produzir um sinal de amplitude modulada, existe na realidade quatro freqüências de saída do modulador. Uma das freqüências de saída é o sinal de áudio de 1.000 hertz, que é imediatamente eliminado por circuitos de filtro. As outras três freqüências de saída são:

Fig. 12-5: Como os sinais se combinam num modulador.



- A rádio-freqüência (1.400 kilohertz) ou portadora.
- A rádio-freqüência mais a freqüência de áudio (1.401 kilohertz). Esta é chamada *faixa lateral superior*.
- A rádio-freqüência menos a freqüência de áudio (1.399 kilohertz). Esta é chamada *faixa lateral inferior*.

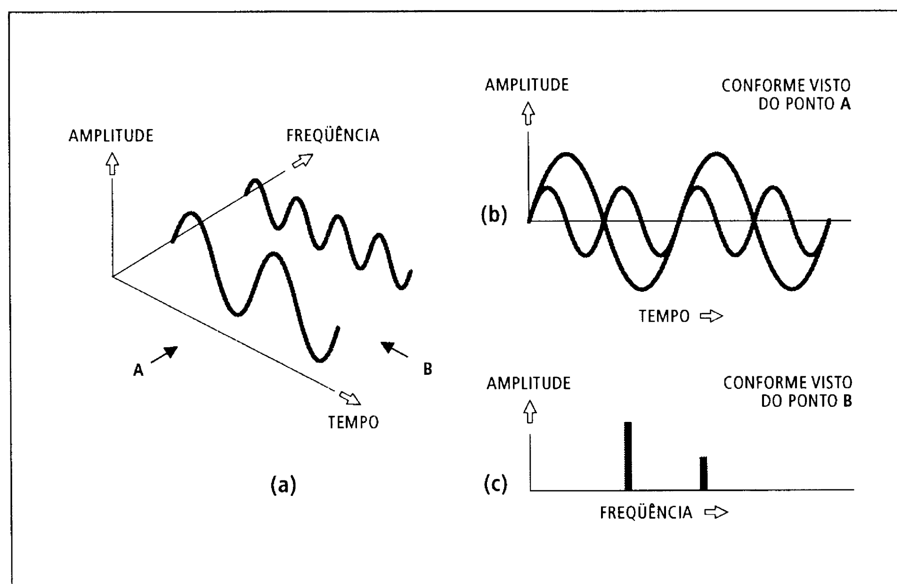
Na Figura 12-5, o sinal de áudio é um tom puro de 1.000 hertz. Na prática, um grande número de áudio-freqüências pode estar presente durante a modulação. Por exemplo, se uma orquestra sinfônica está tocando, todas as freqüências dos diversos instrumentos serão combinadas na rádio-freqüência (portadora).

A presença de faixas laterais é uma característica importante da onda modulada. Iremos discutir estas faixas laterais em maiores detalhes. Porém, em primeiro lugar, será necessário definir dois tipos de gráficos usados para representar sinais de comunicação. Estes gráficos são chamados *gráfico de domínio de freqüência* e *gráfico de domínio de tempo*. Eles serão discutidos imediatamente depois deste resumo.

RESUMO

1. A maioria dos primeiros desenvolvimentos em eletrônica foi no campo das comunicações – isto é, envio e recepção de informação.
2. O áudio foi inventado por Lee DeForest. Foi a primeira válvula triodo.
3. Já o áudio podia amplificar sinais fracos e aumentou grandemente a sensibilidade dos receptores. Isto garantiu maior confiabilidade na recepção a longa distância.
4. Ondas amortecidas foram usadas nas primeiras comunicações. Este tipo de onda está proibido para uso em comunicações.
5. Existem duas desvantagens no uso de ondas amortecidas em comunicações: (1) elas cobrem uma larga faixa de freqüências e (2) elas só podem ser usadas para comunicações em onda contínua.
6. Os sinais de onda contínua consistem em pontos e traços usados para formar letras do alfabeto. Este tipo de comunicação (chamado *código Morse)* está ainda em uso.
7. Um modulador combina o sinal de rádio-freqüência de um transmissor com o sinal de áudio. O sinal de rádio-freqüência é chamado *portador* e o sinal de áudio é chamado *informação* (ou sinal de modulação).
8. Se um sinal portador com freqüência de 1.400 kilohertz é modulado com um sinal de 1 kilohertz num transmissor AM, três formas importantes de ondas estão presentes na saída: o sinal portador de 1.400 kilohertz, um sinal de 1.401 kilohertz, chamado *faixa lateral superior*, e um sinal de 1.399 kilohertz, chamado *faixa lateral inferior*.

Fig. 12-6: Gráficos de domínio de freqüência e de domínio de tempo: (a) representação tridimensional de duas figuras de ondas; (b) as mesmas duas formas-de-onda num gráfico de domínio de tempo; (c) as mesmas duas formas-de-onda num gráfico de domínio de freqüência.



O que são os Gráficos de Domínio de Freqüência e Domínio de Tempo?

A Figura 12-6 mostra três maneiras diferentes de representar as formas-de-onda usadas em comunicações. Na Figura 12-6a, as duas formas-de-onda são facilmente identificadas. Uma possui amplitude maior e a outra possui freqüência mais baixa. A outra forma-de-onda, na realidade, possui o dobro da freqüência e metade da amplitude da primeira. Se você observar ao longo do eixo marcado *freqüência*, verá que, quanto mais se afastar da linha zero, maior será a freqüência do sinal. Isto mostra que o sinal de pequena amplitude possui uma freqüência mais alta.

Se você observar o gráfico tridimensional da Figura 12-6a visto do ponto *A*, irá ver um *gráfico de domínio de tempo.* Isto está indicado na Figura 12-6b. A ilustração de domínio de tempo mostra a amplitude em função do tempo. Mostra também a relação de freqüência entre os dois sinais. A freqüência maior atravessa o eixo um maior número de vezes que a freqüência mais baixa.

Seria muito difícil – para não dizer impossível – mostrar uma forma-de-onda modulada com um gráfico de função de tempo. Isto acontece especialmente quando existem mais de uma ou duas freqüências moduladoras. O *gráfico de domínio de freqüência* da Figura 12-6c mostra as duas formas-de-onda da Figura 12-6a vistas do ponto *B*. Já que está olhando para estas ondas pela extremidade, você vê apenas uma linha reta que representa a amplitude. Em outras palavras, isto é um gráfico da amplitude em função da freqüência (a porção de gráfico abaixo da linha de freqüência foi eliminada na ilustração. Este é o procedimento normal para obter um gráfico de domínio de freqüência).

Quanto mais você se deslocar para a direita no gráfico da Figura 12-6c, maior será a freqüência. Esta ilustração mostra para você que a primeira forma-de-onda tem o dobro da amplitude da segunda e a segunda tem o dobro da freqüência da primeira. O uso de uma ilustração de domínio de freqüência é muito mais conveniente quando se discutem faixas laterais e modulação em transmissores.

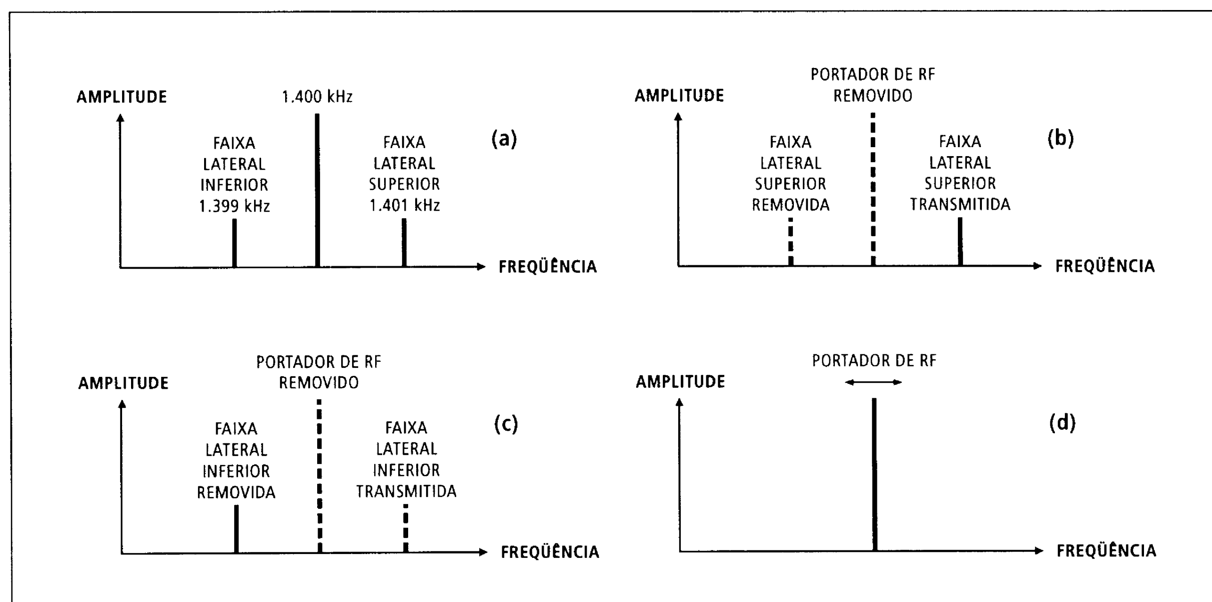
Quais são os tipos de Transmissão usados em Sistemas de Rádio?

Agora que discutimos duas maneiras diferentes de mostrar as ondas de rádio utilizando gráficos, é mais fácil ilustrar os tipos usados em rádio-comunicação.

A Figura 12-7 mostra alguns exemplos importantes. A Figura 12-7a mostra o gráfico de função de freqüência para os sinais na Figura 12-5. O sinal portador é de 1.400 kilohertz. Este sinal portador, como visto anteriormente, é modulado por um sinal de áudio de 1.000 hertz. A combinação do sinal portador com o sinal de áudio consiste no sinal portador, no sinal portador mais o sinal de áudio de 1.000 hertz e no sinal portador menos o sinal áudio de 1.000 hertz. Os três sinais individuais estão indicados na ilustração. Neste caso particular existe apenas uma única freqüência de áudio. Portanto existem apenas dois sinais de faixa lateral, o de 1.399 kilohertz, a faixa lateral inferior, e o de 1.401, a faixa lateral superior. Se a música de uma orquestra sinfônica for usada para modular o sinal de 1.400 kilohertz, haveria uma ampla variedade de áudio-freqüências. De modo que, em vez de ter duas faixas paralelas individuais distintas, conforme indicado na Figura 12-7a, você teria um grande número de faixas laterais em ambos os lados do sinal portador.

O tipo de transmissão ilustrado na Figura 12-7a é chamado *amplitude modulada* (AM). Este é o tipo de sinal usado para emissões de rádio em AM. É preciso fazer uma consideração adicional importante sobre a Figura 12-7a. A altura dos sinais da faixa lateral depende da intensidade do som transmitido.

Fig. 12-7: Tipos de sinais modulados: **(a)** AM; **(b)** AM com uma única faixa lateral superior; **(c)** AM com uma única faixa lateral inferior; **(d)** FM.



A altura indicada é máxima e representa apenas um quarto da altura total do sinal portador. Na maioria dos casos, a altura das faixas laterais será muito menor, de modo que, para qualquer sinal emitido em AM, a maior parte da energia é usada para enviar o sinal portador.

Quando você escuta o rádio, não está escutando o sinal portador. Obviamente todas as informações úteis que você quer ouvir estão nas faixas laterais. Portanto, deve ser possível eliminar o sinal portador e transmitir apenas as faixas laterais. Quando isto é feito, o resultado é chamado *transmissão com faixa lateral única* (ou SSB). Este tipo de transmissão está ilustrado na Figura 12-7b. O sinal portador é removido, assim como a faixa lateral inferior. Ambas estão indicadas em linhas pontilhadas. Apenas a faixa lateral superior é transmitida. Isto é uma *transmissão na faixa lateral superior* (USB). É também possível enviar somente a faixa lateral inferior e eliminar o sinal portador e a faixa lateral superior. Isto é chamado *transmissão na faixa lateral inferior* (LSB) (Fig. 12-7c). Estes são dois exemplos de transmissão em faixa lateral única.

Em todos os sistemas discutidos até aqui, a freqüência do sinal portador tinha um valor único e fixo. Uma outra maneira de transmitir informação consiste simplesmente em deslocar a freqüência do sinal portador em vaivém de acordo com o sinal de áudio. Isto é chamado *freqüência modulada* (FM), e está ilustrada na Figura 12-7d. A freqüência do sinal portador é deslocada rapidamente em vaivém para sons de alta freqüência e lentamente em vaivém para sons de baixa freqüência. O valor do deslocamento da freqüência do sinal portador a partir da freqüência central é determinado pela intensidade do áudio transmitido. Os sinais de freqüência modulada devem ser recebidos por rádios projetados para detectar ou demodular este tipo de sinal. Ocorre que, se o receptor é capaz de demodular um sinal de FM, não será capaz de demodular sinais de AM (amplitude modulada). A estática causada por raios e máquinas elétricas é principalmente em amplitude modulada, de modo que os receptores de freqüência modulada têm pouca ou nenhuma estática em seus alto-falantes.

A eliminação do sinal portador numa transmissão em faixa lateral única (SSB) torna a transmissão mais eficiente, porém você irá ter problemas no receptor. Não é possível ao receptor utilizar um sinal com apenas uma faixa lateral e reproduzir o áudio original. Para o receptor poder reproduzir o sinal de áudio é necessário, em primeiro lugar, reinserir o sinal portador no receptor. Para isto, usa-se um oscilador que produz um sinal constante de rádio-freqüência na freqüência do sinal portador, para injetar um sinal que é misturado com o sinal de faixa lateral única. Isto está indicado na Figura 12-8. O sinal de faixa lateral única (SSB) e o sinal portador produzidos pelo oscilador são injetados num *detector de faixa lateral única* (SSB). A saída do detector contém o sinal de faixa lateral única (SSB) e o sinal portador. Os receptores podem converter este tipo de sinal num sinal útil de áudio. A transmissão em faixa lateral única (SSB) não é usada em transmissão AM normal. A sintonização necessária para reinserir o sinal portador deve ser realizada muito cuidadosamente. O processo de sintonização foi julgado difícil demais para o ouvinte médio de rádio AM.

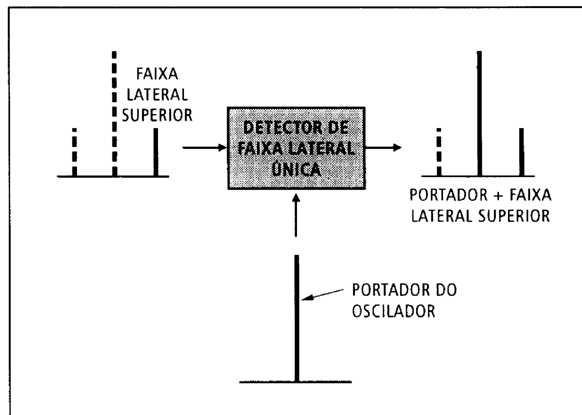


Fig. 12-8: O sinal portador é reinserido no receptor de faixa lateral única (SSB).

Quais são as seções de um Transmissor de Rádio AM?

A Figura 12-9 mostra o diagrama de blocos de um transmissor AM. A rádio-freqüência é produzida pelo oscilador. Ele produz uma freqüência muito exata que não varia mais do que alguns hertz durante todo o dia. Em geral usa-se um circuito oscilador de cristal. O componente que determina a freqüência é um cristal piezoelétrico projetado para refletir a uma taxa muito específica.

Em muitos casos, a freqüência de saída do oscilador de cristal é menor do que aquela necessária para um sinal portador de rádio-freqüência. *Multiplicadores de freqüência* são usados para aumentar a freqüência do sinal do oscilador até a freqüência do sinal do portador. O circuito intermediário apresenta uma carga constante ao oscilador, para evitar alterações na

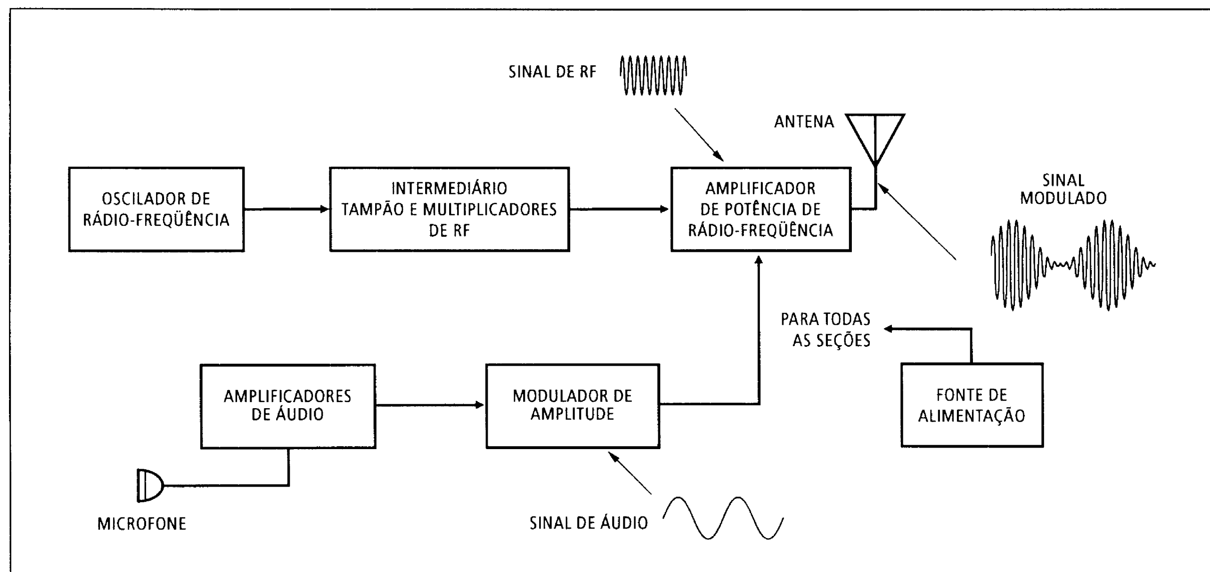


Fig. 12-9: Diagrama de blocos de um transmissor AM.

freqüência provocadas por alterações de carga no estágio posterior.

Depois de os multiplicadores terem trazido a freqüência do sinal à freqüência do sinal portador, é necessário ter um estágio de amplificação de potência da rádio-freqüência.

Até agora demonstramos como é gerado o sinal portador sem presença de áudio. O sinal de áudio a ser transmitido é apanhado pelo microfone e amplificado por um certo número de amplificadores de tensão de áudio. O sinal de áudio amplificado é enviado para um *modulador de áudio* que possui uma potência de saída suficiente para variar a amplitude do sinal de rádio-freqüência do amplificador de potência. O resultado é o sinal de amplitude modulada que é enviado para uma antena através da qual é irradiado. Como para todos os sistemas eletrônicos, é necessária uma fonte de alimentação para proporcionar as tensões e correntes necessárias para operar os componentes eletrônicos.

Para tornar o transmissor da Figura 12-9 um transmissor de faixa lateral única (SSB), você pode adicionar filtros depois do amplificador de potência da rádio-freqüência. Os filtros são circuitos elétricos que irão deixar passar algumas freqüências e eliminar todas as outras. Por meio de um projeto cuidadoso do filtro, seria possível deixar passar apenas uma faixa lateral. Ou você poderia eliminar apenas o sinal portador. Não é a única maneira de chegar ao resultado desejado mas é uma maneira válida.

Quais são as seções de um Transmissor de Rádio FM?

A Figura 12-10 mostra o diagrama de blocos de um transmissor FM. Observe que este diagrama é muito parecido com o diagrama do transmissor AM da Figura 12-9. No transmissor FM temos também amplificadores de áudio, um oscilador de rádio-freqüência, um dispositivo tampão e multiplicadores de rádio-freqüência, um amplificador de potência para rádio-freqüência e uma fonte de alimentação.

A diferença principal na Figura 12-10 está no método de modulação. Aqui, como podemos observar, a saída dos amplificadores de áudio é injetada num *modulador de freqüência* (na Figura 12-9 podemos observar que a saída dos amplificadores de áudio é injetada num modulador de amplitude que, por sua vez, modula o amplificador de potência). O modulador de freqüência, por sua vez, modula a freqüência do oscilador de rádio-freqüência. O tipo de saída do oscilador após a modulação está indicado pela forma-da-onda acima do bloco do oscilador na Figura 12-10. Observe que a freqüência do oscilador é posta a variar de acordo com a amplitude da onda de áudio. Por outro lado, a taxa de mudança desta freqüência é a mesma da freqüência de áudio em si.

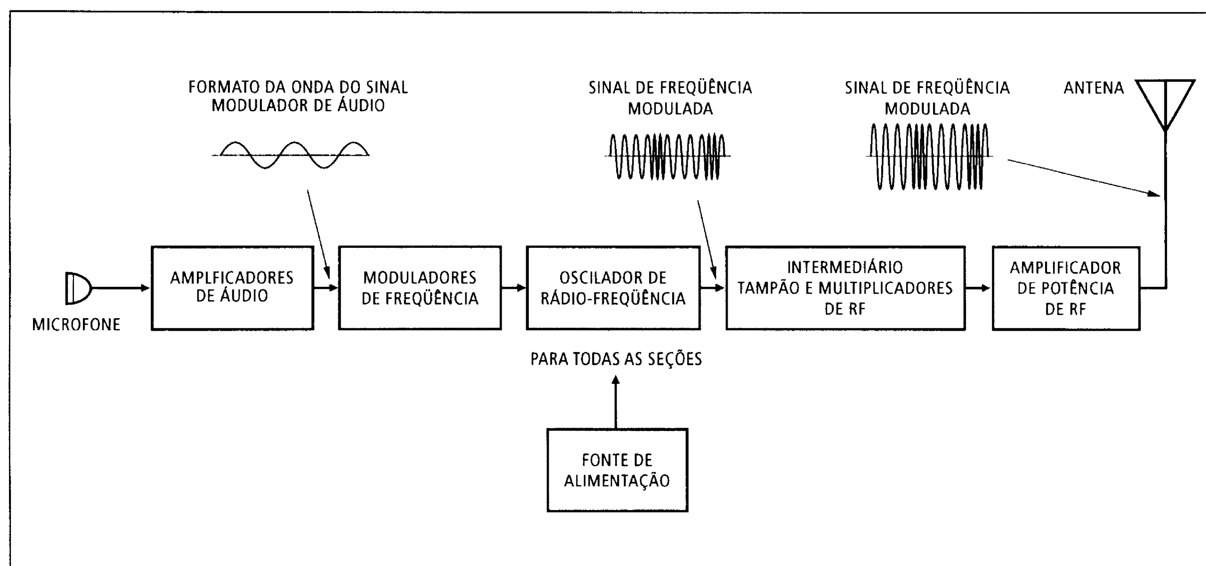


Fig. 12-10: Diagrama de blocos de um transmissor FM.

Por exemplo, vamos considerar uma freqüência de áudio de 400 hertz de uma determinada amplitude. Quando o sinal de áudio atinge a amplitude máxima positiva, a freqüência do oscilador torna-se máxima. Quando o sinal de áudio estiver na amplitude zero, o oscilador estará na sua freqüência central. E quando o sinal de áudio atingir sua amplitude negativa máxima, a freqüência do oscilador torna-se-á mínima. Já que a freqüência de áudio é 400 hertz, esta será também a taxa de variação da freqüência do oscilador.

RESUMO

1. Duas maneiras de mostrar formas-de-onda são por meio de gráficos de domínio de freqüência e de domínio de tempo.
2. Os gráficos de domínio de freqüência representam a amplitude em função da freqüência.
3. Os gráficos de domínio de tempo representam a amplitude em função do tempo.
4. Os sinais transmitidos podem ser melhor representados por meio de gráficos de domínio de freqüência.
5. Um sinal de emissão AM possui um sinal portador, freqüência de faixa lateral superior e freqüência de faixa lateral inferior.
6. Já que toda a parte útil do sinal está nas faixas laterais, o sinal portador e uma faixa lateral podem ser eliminados. Isto é chamado *transmissão em faixa lateral única* (SSB).
7. A transmissão em faixa lateral única (SSB) ocupa a menor parte do espectro de rádio-freqüência, porém é mais difícil de sintonizar num receptor de rádio.
8. Com *transmissão de duas faixas laterais* com supressão do sinal portador, apenas as faixas laterais superior e inferior são transmitidas.
9. Quando a freqüência do sinal portador é alterada pelo sinal de áudio, temos uma onda de freqüência modulada (FM).
10. A rádio-freqüência é gerada num transmissor na seção do oscilador. Multiplicadores de freqüência podem ser usados para levar a freqüência do oscilador à freqüência desejada do sinal portador.
11. O modulador AM varia a amplitude do sinal portador à taxa de variação do áudio.
12. Na freqüência modulada, a amplitude do sinal de áudio causa a variação da freqüência do oscilador. Por outro lado, a freqüência do sinal de áudio determina a taxa de variação da freqüência do oscilador.

Quais são as seções básicas de um Receptor de Rádio?

O estudo dos receptores de rádio é simplificado pelo fato de que todos os receptores consistem em, pelo menos, quatro seções básicas. Os vários tipos de receptores são obtidos pela adição de mais circuitos a estas quatro seções básicas. Porém, em caso algum você irá encontrar um receptor de rádio que não possua estas quatro seções básicas. A Figura 12-11 mostra as quatro seções básicas.

Uma antena é necessária para converter as ondas eletromagnéticas de rádio em sinais elétricos para operar o receptor. Você deve ter observado casos em que um aparelho de rádio ou de televisão parece funcionar sem antena. Tecnicamente isto é impossível. Se não há uma antena externa ligada, o rádio usa os fios e as conexões dentro do receptor como antena. *Não* é possível para um receptor funcionar sem ter algum sistema de antena.

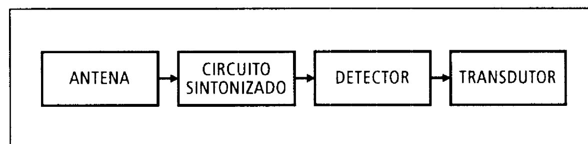


Fig. 12-11: Todos os receptores de rádio possuem estas seções básicas.

A antena pode ser montada ao ar livre – é o caso de muitos receptores de televisão. Estas antenas estão, evidentemente, localizadas a alguma distância dos transmissores de televisão. As altas freqüências relacionadas com os sinais de televisão não seguem a curvatura da Terra e não são refletidas de volta para a Terra pela ionosfera. Portanto é possível receber os sinais apenas de dentro da chamada *distância de horizonte* (cerca de 80 km).

A antena fornece um sinal ao circuito sintonizado no receptor. Não seria possível ter rádio-comunicação como a conhecemos se não pudermos escolher uma estação de cada vez e rejeitar todas as outras. O método usual para rejeitar as estações indesejáveis consiste em usar circuitos sintonizados indutância-capacitância (*LC*). O ouvinte altera uma capacitância ou uma indutância para sintonizar a estação desejada.

Depois de selecionado o sinal, o mesmo passa para uma seção chamada *detector*. Basicamente, o detector é o estágio que muda o sinal portador de RF para os sinais originais de áudio.

Os sinais de áudio passam então para um transdutor que pode ser um par de fones de ouvido ou um alto-falante.

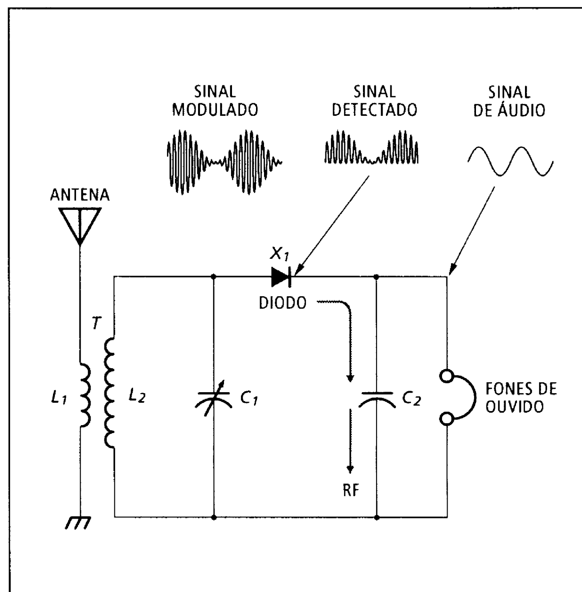


Fig. 12-12: Receptor de cristal.

Como funciona um Rádio de Cristal?

O receptor mais simples, conhecido como receptor de cristal, está indicado na Figura 12-12. Este receptor usa apenas as quatro seções indicadas na Figura 12-11.

A antena fornece um sinal ao transformador *T*. Este transformador acopla o sinal do primário L_1 para o secundário L_2. O secundário do transformador é um indutor que funciona em conjunto com um capacitor variável C_1 para formar o circuito sintonizado do receptor. Esta seção seleciona a estação desejada.

O diodo X_1 é geralmente chamado *detector*. Na realidade, sua finalidade é permitir à corrente do sinal passar num sentido porém não no outro. Em outras palavras, o sinal modulado é convertido em corrente contínua pulsante (retificada). Isto é necessário porque o sinal de amplitude modulada contém dois sinais de áudio defasados entre si em 180°. Se estes dois sinais de áudio passassem juntos para os fones de ouvido, um cancelaria o outro. Portanto, um dos dois sinais é eliminado usando o diodo.

O sinal, na saída do detector de diodo indicado na Figura 12-12, estaria presente se não houvesse o capacitor C_2. O capacitor C_2 afasta o sinal RF dos fones e somente o sinal de áudio chega até eles.

O que é um Receptor TRF?

Uma maneira de melhorar a sensibilidade de um receptor – isto é, melhorar sua capacidade de receber sinais fracos – consiste em usar um *receptor TRF* como aquele indicado na Figura 12-13. As letras **TRF** significam em inglês **T**uned **R**adio **F**requency (rádio-freqüência sintonizada). Este receptor possui um ou vários amplificadores de rádio-freqüência sintonizados.

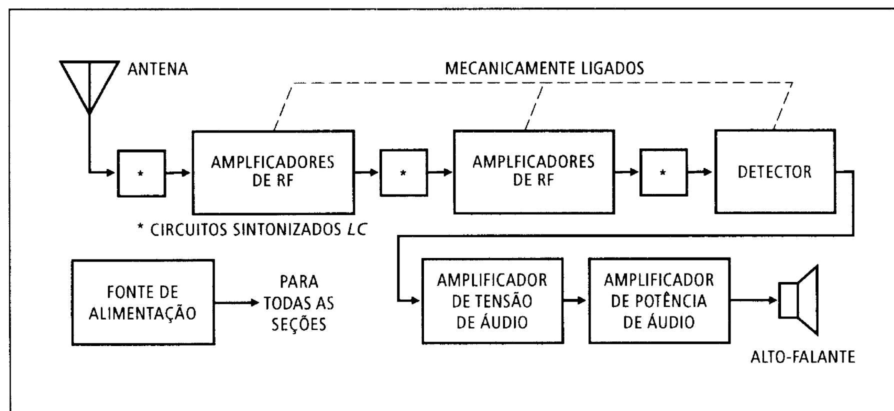


Fig. 12-13: Diagrama de blocos de um receptor TRF.

Estes amplificadores aumentam o sinal RF muito fraco da antena para um sinal RF reforçado que pode ser usado para operar o detector.

Circuitos sintonizados são utilizados como parte de cada amplificador de rádio-freqüência, de modo que o receptor irá receber somente a rádio-freqüência desejada num determinado momento.

A saída do último amplificador de rádio-freqüência passa para o detector. Depois do detector, o sinal de áudio é amplificado primeiramente pelo amplificador de tensão de áudio e, em seguida, por um amplificador de potência de áudio. A saída do amplificador de potência de áudio aciona o alto-falante. Uma fonte de alimentação de corrente contínua é necessária para operar os amplificadores de rádio-freqüência e os amplificadores de áudio.

Os primeiros modelos de receptores TRF eram de difícil sintonização porque eram necessários três circuitos sintonizados separadamente. Nos modelos mais recentes, os circuitos sintonizados foram combinados de tal forma que um único mostrador controla os três circuitos. Isto tornou a sintonização muito mais fácil. O receptor TRF é usado atualmente em algumas aplicações especiais, como por exemplo em receptores, para dispositivos de abertura de portas de garagem.

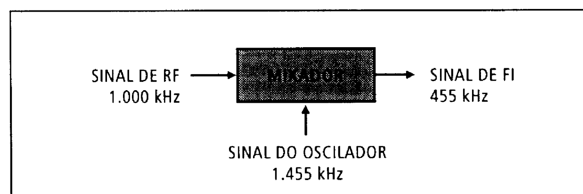
O que é um Receptor de AM Super-Heteródino?

Um melhoramento substancial do receptor TRF é o receptor super-heteródino indicado na Figura 12-14. Este receptor pode sintonizar sinais mais fracos. Em outras palavras, é mais sensível que o receptor TRF. É também mais *seletivo*. Isto é, ele pode separar as estações muito próximas uma da outra em suas freqüências de transmissão.

O diagrama de blocos mostra que o sinal é fornecido a um amplificador de rádio-freqüência através de um circuito sintonizado; em seguida, a um outro circuito sintonizado e a um estágio de mistura. O sinal de rádio-freqüência da estação de rádio é combinado no misturador com o sinal do oscilador. Quando você combina dois sinais num circuito não-linear como o misturador, existem quatro freqüências de saída principais: o sinal de rádio-freqüência, o sinal do oscilador, a freqüência do sinal RF mais a freqüência do sinal do oscilador e a freqüência do sinal RF menos a freqüência do sinal do oscilador. Num receptor super-heteródino, a diferença de freqüência é selecionada pelo(s) amplificador(es) sintonizado(s) de freqüência intermediária. Esta diferença de freqüência, chamada *freqüência intermediária,* é menor que a rádio-freqüência. A freqüência mais baixa possibilita maior ganho e maior seletividade nos estágios de amplificação. O forte sinal de saída do amplificador de freqüência intermediária é fornecido para o detector e daí em diante, o receptor é idêntico ao receptor TRF.

A Figura 12-15 mostra como os sinais são combinados no mixador para produzir a freqüência inter-

Fig. 12-15: Sinais no estágio de mistura.



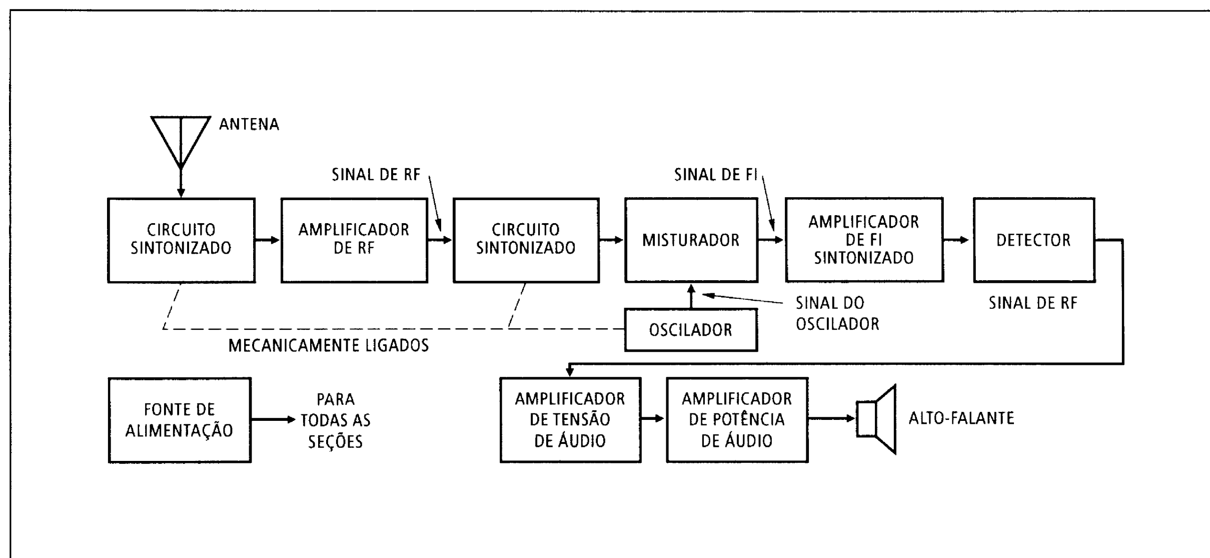


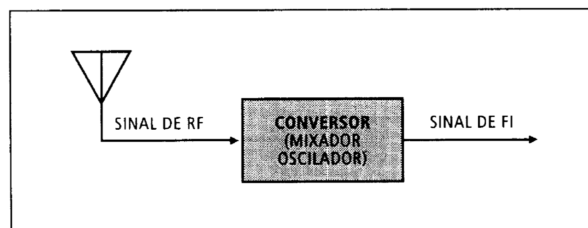
Fig. 12-14: Diagrama de blocos de um receptor super-heteródino.

mediária. O sinal RF descarregado no mixador tem, neste exemplo, uma freqüência de 1.000 kilohertz. A freqüência do oscilador é de 1.455 kilohertz. A diferença de freqüência entre os dois é de 455 kilohertz, e essa é a freqüência intermediária do receptor. Na verdade, a maioria dos receptores de rádio-difusão usa uma freqüência intermediária de 455 kilohertz.

Seja qual for a freqüência que esteja sendo sintonizada pelo receptor, o oscilador será sempre ajustado de forma tal que, quando os dois sinais são combinados no mixador, a saída é sempre 455 kilohertz. Isso simplifica a sintonização das faixas do amplificador FI porque haverá sempre uma só freqüência descarregada nessas faixas.

Em vez de um amplificador RF, mixador e oscilador, mostrados na Figura 12-14, alguns receptores têm o sinal recebido descarregado diretamente num aparelho chamado *conversor* (Figura 12-16). Este *conversor* é uma combinação do mixador e do oscilador.

Fig. 12-16: Sinais no estágio de conversão.



O que é um Receptor de FM Super-Heteródino?

Os receptores super-heteródinos FM, semelhantes àqueles que recebem programas em freqüência modulada, funcionam obedecendo o mesmo princípio básico que o receptor AM indicado na Figura 12-14. Um diagrama de blocos simplificado de um receptor super-heteródino FM está indicado na Figura 12-17. Para simplicidade, os vários circuitos sintonizados não estão indicados separadamente.

Se você comparar as Figuras 12-14 e 12-17 poderá ver que os dois receptores possuem em comum o amplificador de rádio-freqüência, o misturador, o oscilador, o amplificador sintonizado de freqüência intermediária, um detector, amplificadores de áudio e uma fonte de alimentação. Porém, existem diferenças importantes.

Enquanto o receptor AM opera numa faixa de freqüências centrada em torno de 1.000 kilohertz, o receptor FM opera numa faixa de freqüências mais elevada centrada em torno de 98 megahertz. Além disso, o receptor FM possui dois circuitos especiais que não são encontrados no receptor AM. Estes são o limitador e o detector de freqüência modulada.

Uma das maiores vantagens da recepção em freqüência modulada é a saída quase isenta de ruídos do receptor. Na Figura 12-17 o circuito que retira a maior parte dos ruídos do sinal é o limitador. Os ruídos de amplitude modulada que constituem a maior parte dos ruídos recebidos são rejeitados pelo limitador.

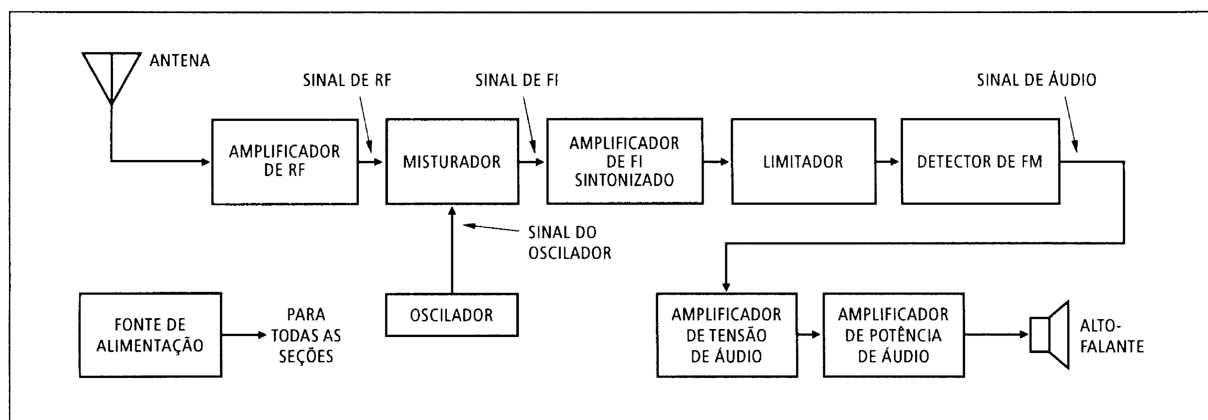


Fig. 12-17: Diagrama de blocos simplificado de um receptor super-heteródino FM.

O detector de freqüência modulada deve responder a um sinal de freqüência variável (e não de amplitude variável, como no caso de um detector de amplitude modulada). Assim sendo, o detector de freqüência modulada possui circuitos especialmente sintonizados que respondem às freqüências variáveis do sinal de freqüência modulada. A saída do detector de freqüência modulada é um sinal de áudio da mesma forma que a saída de um detector de amplitude modulada. Como podemos ver na Figura 12-17, o sinal de áudio detectado é amplificado e, em seguida, enviado ao alto-falante.

Uma característica importante da recepção em freqüência modulada é a maior faixa de freqüências de áudio, a chamada recepção em alta-fidelidade. Você deve lembrar-se, porém, de que esta característica não se restringe apenas ao sistema de freqüência modulada. Um sistema de amplitude modulada é capaz de produzir o mesmo áudio de alta-fidelidade. Porém, na faixa de freqüências utilizada pela amplitude modulada, não há espaço suficiente para que cada estação de amplitude modulada possa transmitir áudio de alta-fidelidade. Por espaço, entende-se largura de faixa.

Uma outra característica de muitos receptores de freqüência modulada (não indicada na Figura 12-17) é a chamada recepção estereofônica. Neste caso, o transmissor de freqüência modulada emite um tipo especial de sinal de FM. Este sinal contém a informação de som vindo de duas direções físicas, à direita, e à esquerda do ouvinte. No receptor de freqüência modulada, os sinais de áudio da direita e da esquerda são separados e enviados a dois alto-falantes: um à direita e o outro à esquerda do ouvinte. Isto proporciona um som muito mais realístico.

RESUMO

1. Todos os receptores possuem, pelos menos, quatro seções básicas: antena, sintonizador, detector e transdutor.
2. Um rádio de cristal possui, apenas, as quatro seções básicas do receptor. O cristal é na verdade, um diodo detector.
3. Receptores TRF (rádio-freqüência sintonizada) podem ter várias seções sintonizadas de rádio-freqüência.
4. Receptores super-heteródinos possuem um oscilador local. O sinal do oscilador local é misturado com o sinal de rádio-freqüência para produzir uma freqüência intermediária.
5. Nem todos os receptores super-heteródinos usam um amplificador de rádio-freqüência separado. Nestes aparelhos, pode ser usado um estágio de conversão. Isto se chama combinação misturador/oscilador.
6. Na maioria dos receptores super-heteródinos de amplitude modulada, a diferença entre a rádio-freqüência e a freqüência do oscilador é de 455 kilohertz, independentemente da estação sintonizada. Isto significa que a freqüência intermediária é sempre de 455 kilohertz.
7. Um receptor super-heteródino FM é semelhante a um aparelho AM. Porém, o receptor FM usa um estágio limitador para reduzir o ruído e um tipo especial de detector de freqüência modulada.

PERGUNTAS DE REVISÃO PROGRAMADA

(As instruções para o uso desta seção de revisão programada são fornecidas no Capítulo 1 / pág. 8.)

Você irá agora rever os conceitos importantes deste capítulo. Se você entendeu o material de instrução, irá progredir facilmente nesta seção. Não pule este material porque nele apresentamos também algumas informações teóricas adicionais.

1 **Um circuito detector num receptor de rádio deve usar um componente não-linear. Qual dos seguintes componentes é usado como detector num receptor de rádio?**

A **Um diodo**
(passe para o item 17).
B **Um resistor**
(passe para o item 9).

2 *A resposta correta para a pergunta no item 24 é C. Tanto o capacitor como o indutor podem ser enviados ao circuito LC sintonizado. Em alguns receptores um diodo* ***varactor*** *pode ser usado, ou seja, um* ***capacitor de tensão variável****. É um diodo que age como um capacitor, de modo que o circuito é considerado como sendo sintonizado por um capacitor.* Aqui está a próxima pergunta:

Um receptor AM é sintonizado em uma freqüência de 1.200 kilohertz. Se o receptor for do tipo super-heteródino, com freqüência intermediária de 455 kilohertz, qual é a freqüência do oscilador?

A **1.655 kilohertz**
(passe para o item 8).
B **1.200 kilohertz**
(passe para o item 15).

3 *A resposta correta para a pergunta no item 19 é A. O detector é, às vezes, chamado de* ***demodulador****.* Aqui está a próxima pergunta:

Uma vantagem da transmissão em faixa lateral única (SSB) sobre a transmissão AM normal, é que o sinal de transmissão em faixa lateral única:

A **É mais fácil de sintonizar**
(passe para o item 10).
B **Não requer tanto do espectro de rádio-freqüência**
(passe para o item 16).

4 *A resposta correta para a pergunta do item 17 é A. Quando o rádio for sintonizado de uma estação para outra, a freqüência do oscilador é automaticamente alterada. A freqüência do oscilador menos a freqüência da estação sintonizada é sempre igual à freqüência intermediária.* Aqui está a próxima pergunta:

Qual das seguintes proposições está certa?

A **Antenas transmissoras mais compridas são geralmente usadas para freqüências mais baixas**
(passe para o item 24).
B **Antenas transmissoras mais compridas são geralmente usadas para freqüências mais elevadas**
(passe para o item 7).

5 *Se sua resposta para a pergunta do item 20 é B, está errada. O sinal portador não contém qualquer informação de áudio das faixas laterais.* Passe para o item 26.

6 *A resposta correta para a pergunta do item 8 é B. Existem alguns transmissores nos quais um oscilador de freqüência variável é usado no lugar de um oscilador de cristal. Isto permite ao operador sintonizar várias freqüências do sinal portador.* Aqui está a próxima pergunta:

A razão para proibição da rádio-comunicação com ondas amortecidas é:

A **Porque são muito perigosas**
(passe para o item 13).
B **Usa-se uma porção muito grande do espectro de rádio**
(passe para o item 20).

7 *Se sua resposta para a pergunta do item 4 é B, está errada. Quanto mais baixa for a freqüência de transmissão, mais comprida deve ser a antena.* Passe para o item 24.

8 *A resposta correta para a pergunta do item 2 é A. Aqui está o método de cálculo:*

freqüência do oscilador - freqüência da estação = **freqüência intermediária**

Portanto,
freqüência do oscilador =
freqüência da estação + freqüência intermediária

= 1.200 kilohertz + 455 kilohertz
= 1.655 kilohertz

Aqui está a próxima pergunta:

Num transmissor AM, a freqüência do sinal portador é produzida por:

A **Um oscilador de áudio e um modulador** (passe para o item 22).
B **Um oscilador de cristal e multiplicadores de freqüência** (passe para o item 6).

9 *Se sua resposta para a pergunta do item 1 é B, está errada. Um resistor é um componente linear. Não pode ser usado como detector.* Passe para o item 17.

10 *Se sua resposta para a pergunta do item 3 é A, está errada. O fato de que os receptores de faixa lateral única serem mais difíceis de sintonizar explica por que este método de transmissão não está sendo usado para transmissão em AM.* Passe para o item 16.

11 *Se sua resposta para a pergunta do item 17 é B, está errada. A freqüência intermediária não varia quando o rádio é sintonizado.* Passe para o item 4.

12 *Se sua resposta para a pergunta do item 26 é A, está errada. Um varactor é um diodo que funciona como um capacitor.* Passe para o item 19.

13 *Se sua resposta para a pergunta do item 6 é A, está errada. Nunca se discutiu o perigo relacionado com ondas amortecidas.* Passe para o item 20.

14 *Se sua resposta para a pergunta do item 24 é A, está errada. Em muitos rádios para automóveis, o circuito de sintonização usa indutores variáveis. Estes são preferidos aos capacitores variáveis nesta aplicação porque rádios para automóveis devem ser excepcionalmente sensíveis.* Passe para o item 2.

15 *Se sua resposta para a pergunta do item 2 é B, está errada. É preciso adicionar a rádio-freqüência à freqüência intermediária, para obter a freqüência do oscilador.* Passe para o item 8.

16 *A resposta correta para a pergunta do item 3 é B. O espectro de rádio está se tornando cada vez mais ocupado. De modo que, o fato de a transmissão em faixa lateral única ocupar menos espaço no espectro está se tornando cada vez mais importante.* Aqui está a próxima pergunta:

Um sinal de 1.500 kilohertz é modulado por uma onda senoidal de áudio de 500 hertz (0,5 kilohertz). A faixa lateral superior estará em:

A **1.500,5 kilohertz** (passe para o item 23).
B **1.505 kilohertz** (passe para o item 27).

17 *A resposta correta para a pergunta do item 1 é A. O diodo deve ter uma queda de tensão direta muito baixa. Em outras palavras, quando a corrente flui do cátodo para o ânodo, deve haver uma queda de tensão muito pequena.* Aqui está a próxima pergunta:

Qual das seguintes proposições está certa?

A **A freqüência intermediária num rádio não se altera quando o rádio for sintonizado de uma estação para outra** (passe para o item 4).
B **A freqüência intermediária num rádio aumenta quando o rádio for sintonizado em uma estação com freqüência mais elevada** (passe para o item 11).
C **A freqüência intermediária num rádio diminui quando o rádio for sintonizado em uma estação com freqüência mais baixa** (passe para o item 18).

18 *Se sua resposta para a pergunta do item 17 é C, está errada. A freqüência intermediária não se altera quando o rádio for sintonizado.* Passe para o item 4.

19 *A resposta correta para a pergunta do item 26 é B. Em receptores de válvulas, pode ser usada a válvula especial com cinco grades como conversor. O circuito resultante é chamado conversor* ***pentegrade***. Aqui está a próxima pergunta:

Existem quatro seções básicas comuns a todos os receptores. São elas: o transdutor de saída, o circuito sintonizado, a antena e:

[A] **O detector** (passe para o item 3).
[B] **A fonte de alimentação** (passe para o item 25).

20 *A resposta correta para a pergunta do item 6 é B. As ondas amortecidas cobrem uma faixa de freqüências tão ampla que apenas algumas poucas estações poderiam funcionar com este tipo de transmissão. Também não seria possível modular a amplitude ou a freqüência das ondas amortecidas.* Aqui está a próxima pergunta:

A informação útil de rádio num sinal de emissão está:

[A] **Nas faixas laterais** (passe para o item 26).
[B] **No sinal portador** (passe para o item 5).

21 *Se sua resposta para a pergunta no item 24 é B, está errada. A maioria dos receptores de rádio de mesa é sintonizada com capacitores variáveis.* Passe para o item 2.

22 *Se sua resposta para a pergunta no item 8 é A, está errada. Estude o diagrama de blocos da Figura 12-9c, e em seguida,* passe para o item 6.

23 *A resposta correta para a pergunta no item 16 é A. A freqüência da faixa lateral superior é igual à freqüência portadora mais a freqüência de áudio.*

Freqüência da faixa lateral superior = freqüência portadora + freqüência de áudio

A freqüência portadora é de 1.500 kilohertz e a freqüência de áudio é de 500 hertz ou 0,5 kilohertz. Portanto

Freqüência da faixa lateral superior = 1.500 kilohertz + 0,5 kilohertz

= 1.500,5 kilohertz

Aqui está a próxima pergunta:

O processo de combinar um sinal de áudio com um sinal portador de RF é chamado

....

(passe para o item 28)

24 *A resposta correta para a pergunta no item 4 é A. O comprimento da antena transmissora está relacionado com o comprimento de onda da freqüência transmitida. Matematicamente.*

Comprimento de onda em metros =

$$\frac{300.000.000}{\text{freqüência em hertz}}$$

Esta equação mostra que freqüências mais altas têm comprimentos menores de onda. Aqui está a próxima pergunta:

Um circuito *LC* é usado num sintonizador de rádio. Isso permite ao ouvinte selecionar uma estação e rejeitar todas as outras. A sintonização de uma estação é obtida:

[A] **Variando a capacitância mas nunca a indutância do circuito *LC*** (passe para o item 14).
[B] **Variando a indutância mas nunca a capacitância do circuito *LC*** (passe para o item 21).
[C] **Variando ou a indutância ou a capacitância do circuito *LC*** (passe para o item 2).

25 *Se sua resposta para a pergunta no item 19 é B, está errada. Rádios podem funcionar sem fonte de alimentação. O receptor de cristal é um exemplo disto.* Passe para o item 3.

26 *A resposta correta para a pergunta no item 20 é A. O sinal portador é necessário para demodular o sinal do receptor, porém, a informação útil de áudio está nas faixas laterais.* Aqui está a próxima pergunta:

O circuito que é uma combinação de um amplificador de RF e de um misturador num receptor super-heteródino é chamado:

A **Um varactor**
(passe para o item 12).
B **Um conversor**
(passe para o item 19).

27 *Se sua resposta para a pergunta no item 16 é B, está errada. A freqüência de áudio é 500 hertz, que é igual a 0,5 kilohertz. A freqüência da faixa lateral superior é obtida adicionando a freqüência de áudio à freqüência portadora.*
Passe para o item 23.

28 *Modulação.*

Você completou agora as perguntas de revisão programada. O próximo passo consiste em colocar algumas destas idéias em prática em experiências de laboratório. Passe para a seção de experiências deste capítulo.

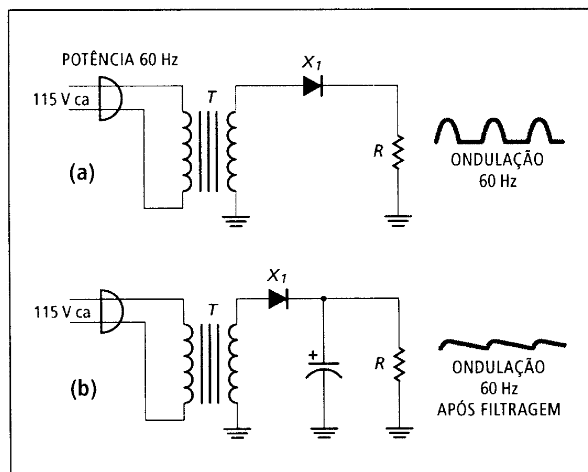


Fig. 12-18: Retificador de meia onda: (**a**) sem filtragem; (**b**) com filtragem.

EXPERIÊNCIAS

(As experiências descritas nesta seção podem ser realizadas na placa de circuitos descrita no Anexo C ou numa montagem de laboratório similar.)

■ FINALIDADE

Demonstrar o som produzido pelas freqüências de ondulação de 60 a 120 hertz e mostrar como um oscilador de áudio pode ser obtido com realimentação para o terminal inversor de entrada de um amplificador operacional.

■ TEORIA

No Capítulo 6, você estudou a teoria a respeito do funcionamento dos circuitos de fontes de alimentação. Naquele capítulo, você aprendeu que um retificador converte corrente (ou tensão) alternada em corrente (ou tensão) contínua pulsante. Um capacitor filtra a corrente (ou tensão) contínua pulsante e a saída da fonte de alimentação resulta em uma corrente (ou tensão) contínua quase pura.

A Figura 12-18 mostra os formatos de onda de uma fonte de alimentação de meia onda. Na Figura 12-18a a fonte de saída não é filtrada. É uma onda pulsante de 60 hertz. Na Figura 12-18b foi adicionado um capacitor de filtro e a onda da saída é uma corrente (ou tensão) contínua quase pura.

Conforme os capacitores eletrolíticos de filtro da fonte de alimentação envelhecem, se tornam menos eficientes quanto à remoção da ondulação. Um dos sintomas que indicam a presença de um capacitor de filtro defeituoso em um aparelho de som, é um forte zumbido do alto-falante.

Isto ocorre porque a corrente para o amplificador de potência não é mais uma corrente contínua pura mas sim uma corrente pulsante à freqüência de ondulação.

Os formatos de onda para um circuito retificador de onda completo são indicados na Figura 12-19. A figura mostra um retificador de onda completo com dois diodos. Porém, os formatos da onda seriam os mesmos em qualquer outro tipo de retificador de onda completa, como por exemplo um retificador de ponte. Na Figura 12-19a vê-se uma onda não-filtrada de 120 hertz. A onda filtrada está indicada na Figura 12-19b.

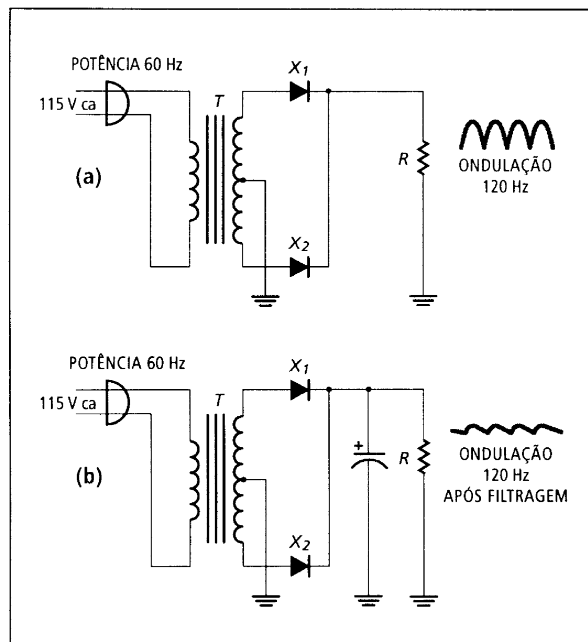


Fig. 12-19: Retificador de onda completa: (a) sem filtragem; (b) com filtragem.

Com um pouco de prática, você aprenderá a reconhecer os sons de 60 hertz e de 120 hertz. Isso é importante porque estes sons são sintomas de filtragem deficiente. Nesta experiência você escutará os sons da ondulação da fonte de alimentação.

Existem duas maneiras de obter a realimentação desejada para osciladores com amplificadores operacionais e estas estão indicadas na Figura 12-20. Na Figura 12-20a a saída do amplificador é reinjetada no terminal não-inversor de entrada. Os sinais de entrada e de saída estão em fase de modo que ocorre oscilação. Este é o tipo de circuito oscilador usado na seção de experiências do Capítulo 10.

Na Figura 12-20b a saída do amplificador é reinjetada no terminal inversor de entrada. O sinal inversor de entrada e o sinal de saída estão normalmente defasados. Isto significa que, se o sinal fosse reinjetado diretamente, como seria o caso se houvesse apenas um resistor no caminho de realimentação, a realimentação seria degenerativa.

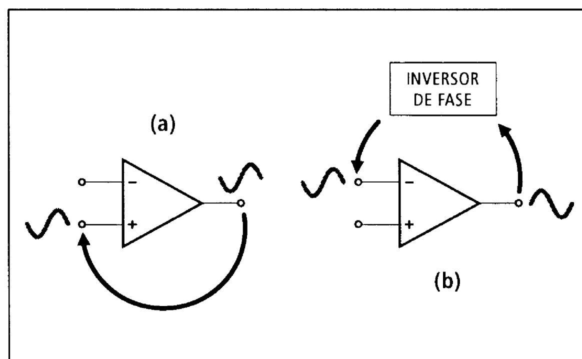


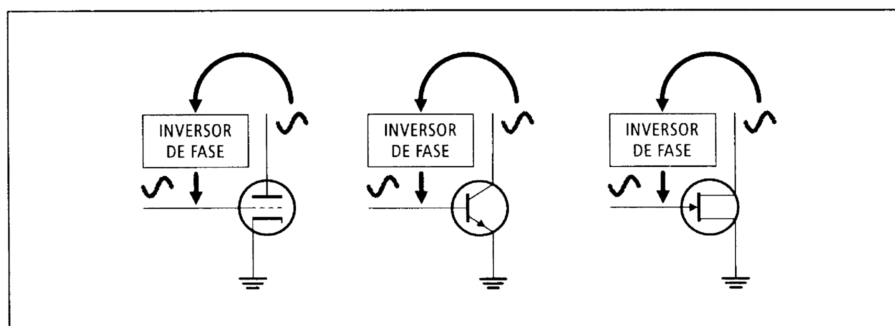
Fig. 12-20: Dois caminhos de realimentação para osciladores: (a) para a entrada não-inversora; (b) para a entrada inversora.

Esta é a razão pela qual se usa um inversor de fase para tornar a realimentação positiva.

Apesar de esta discussão estar relacionada com o uso de amplificadores operacionais como osciladores, vale também para osciladores que utilizam válvulas, transistores bipolares ou transistores FET. A conexão para um amplificador convencional é usada mais freqüentemente para a porção amplificadora dos osciladores. A Figura 12-21 mostra como se obtém geralmente a realimentação. Observe que um circuito inversor de fase é necessário entre os dois pontos para a realimentação positiva.

Os assuntos abordados nesta seção de experiências são relacionados com toda a eletrônica e não apenas com transmissores e receptores. Quando você estiver localizando defeitos num receptor de rádio, deve sempre lembrar que o mesmo possui uma seção de áudio. Além disto, os receptores possuem sistemas de reprodução de áudio e amplificadores de áudio em seus sistemas de gravação em disco e em fita. Nestas experiências, você aprenderá a reconhecer sons de áudio que são sintomas

Fig. 12-21: Realimentação de um oscilador.



de filtros defeituosos em fontes de alimentação. Você pode ouvir estes sons em qualquer equipamento que possua uma fonte de alimentação.

Num capítulo anterior, você aprendeu que os osciladores podem utilizar realimentação positiva. Neste capítulo, você utilizará um amplificador operacional para construir um oscilador. A realimentação será feita no terminal positivo (não-inversor).

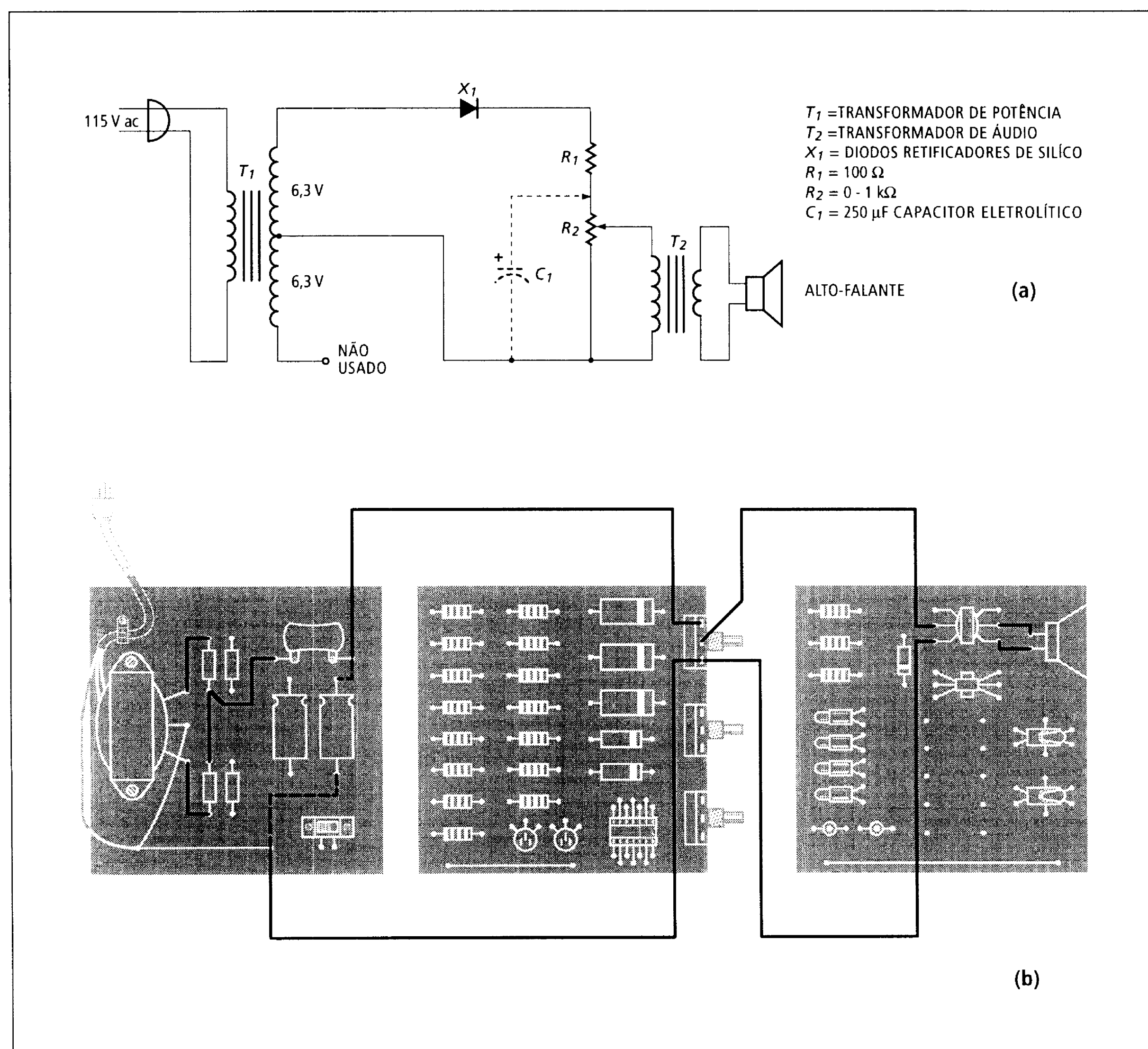
O oscilador que você está construindo no laboratório é semelhante ao tipo de oscilador de áudio de faixa ampla utilizado pelos técnicos para localização de defeitos em equipamentos de áudio.

PRIMEIRA PARTE

MONTAGEM DO TESTE

A Figura 12-22 mostra a montagem do teste do circuito retificador de meia onda. A Figura 12-22a mostra o diagrama esquemático e a Figura 12-22b mostra o diagrama de ligações. Não ligar o capacitor agora. Apenas fazer as ligações do circuito.

Fig. 12-22: Montagem do teste para audição em 60 Hz: (**a**) diagrama esquemático; (**b**) diagrama de ligações chapeado.



■ PROCEDIMENTO

☐ *Etapa 1:* Ajustar R_2 em sua posição central. Você está ouvindo um som no alto-falante?

....**Sim ou Não**

Você deve ouvir um som de baixa freqüência no alto-falante. Escute este som cuidadosamente. Este é o som que você irá ouvir no alto-falante de um sistema no qual o filtro da fonte de alimentação estiver defeituoso.

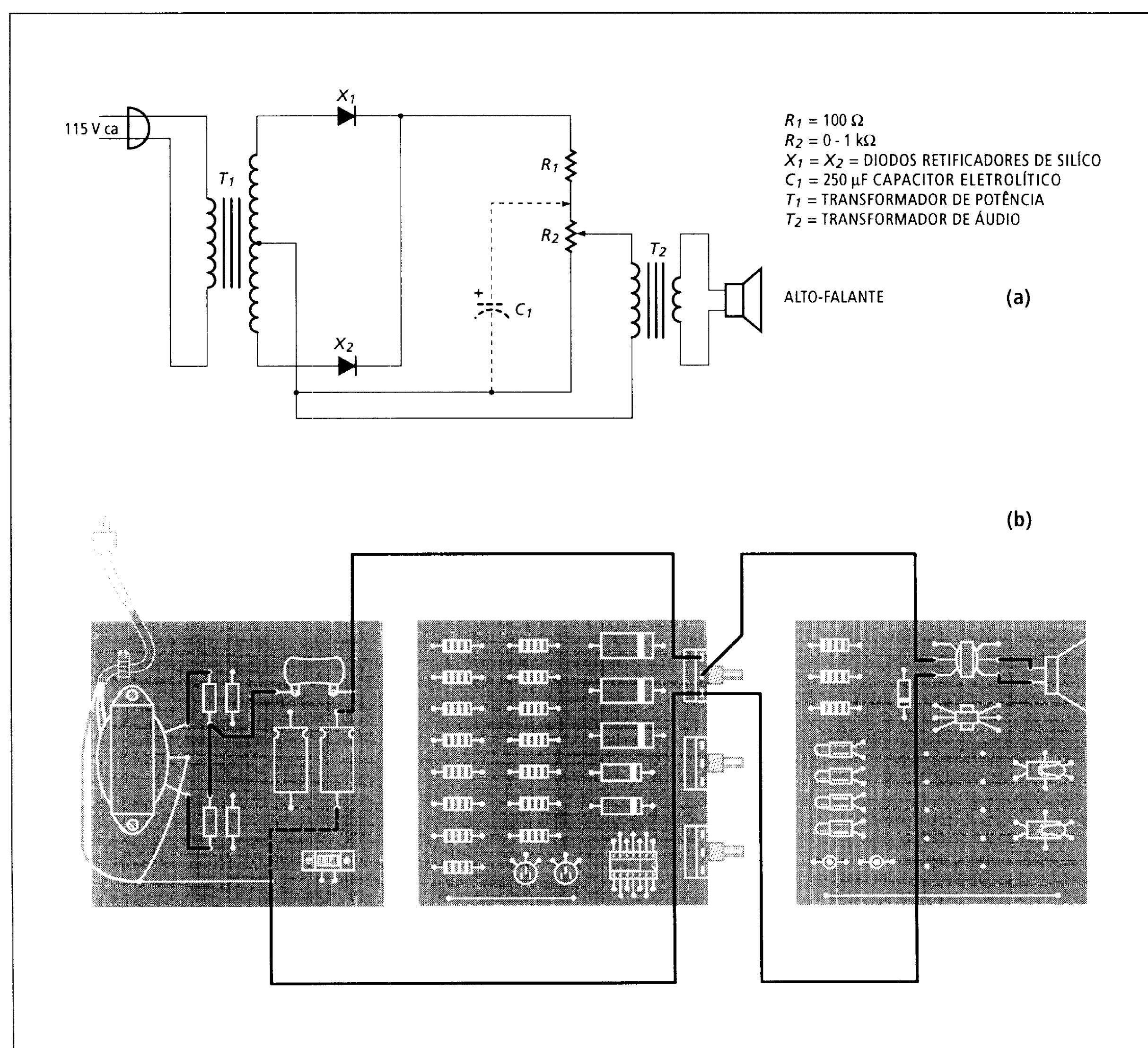
☐ *Etapa 2:* Ajustar R_2 e observar o efeito sobre o som no alto-falante.

....

Durante o ajuste de R_2 você deveria notar uma alteração no volume do som.

Esta ligação de R_2 é a mesma de um controle de volume num receptor de rádio ou de televisão.

Fig. 12-23: Montagem do teste para audição em 120 Hz: (**a**) diagrama esquemático; (**b**) diagrama de ligações chapeado.



☐ *Etapa 3:* Reajustar R_2 na posição central da escala.

☐ *Etapa 4:* Ligar o capacitor de filtro sobre a saída. O que acontece com o som do alto-falante?

....

O capacitor de filtro deveria remover o som do alto-falante.

☐ *Etapa 5:* Efetuar as ligações do circuito conforme indicado na Figura 12-23. Não ligar o capacitor de filtro agora.

☐ *Etapa 6:* Ajustar R_2 no centro da escala. Você está ouvindo um som vindo do alto-falante?

.... **Sim ou Não**

☐ *Etapa 7:* Na Etapa 6 você deve ouvir um som de ondulação. A freqüência deste som é mais elevada ou mais baixa que o som de 60 hertz?

.... **Mais elevada ou Mais baixa**

O som deve ter uma freqüência mais elevada.

☐ *Etapa 8:* O resistor R_2 controla o volume?

.... **Sim ou Não**

Sua resposta deve ser sim.

☐ *Etapa 9:* Ligar o capacitor sobre a saída do retificador. Como isso afeta o som?

....

....

O capacitor de filtro deveria remover a ondulação e, portanto, deveria remover o som.

SEGUNDA PARTE

■ MONTAGEM DO TESTE

Efetuar as ligações do circuito conforme indicado na Figura 12-24. A Figura 12-24a mostra o diagrama esquemático e o diagrama de ligações está indicado na Figura 12-24b.

■ PROCEDIMENTO

☐ *Etapa 1:* Qual é o tipo de retificador para fonte de alimentação utilizado neste circuito?

....

Utiliza-se um retificador de ponte.

☐ *Etapa 2:* Medir a tensão positiva da fonte de alimentação entre o alimentador e o ponto *a*. Anotar o valor da tensão.

.... **volts**

Se você não obtiver um valor *de aproximadamente* 9 volts (geralmente um pouco menos), desligue a força do circuito e verifique cuidadosamente as ligações. O circuito não funcionará adequadamente a menos que tenha o valor correto da tensão positiva de alimentação.

☐ *Etapa 3:* Medir a tensão positiva de alimentação entre o alimentador e o ponto *b*. Anotar o valor da tensão.

.... **volts**

Se você não obtiver um valor de *aproximadamente* –9 volts (geralmente um pouco menos), desligue a força do circuito e verifique cuidadosamente as ligações. O circuito não funcionará adequadamente se a tensão não for correta.

☐ *Etapa 4:* Ajustar R_2 e determinar o efeito deste ajuste sobre o som no alto-falante. R_2 controla o volume ou a freqüência?

....

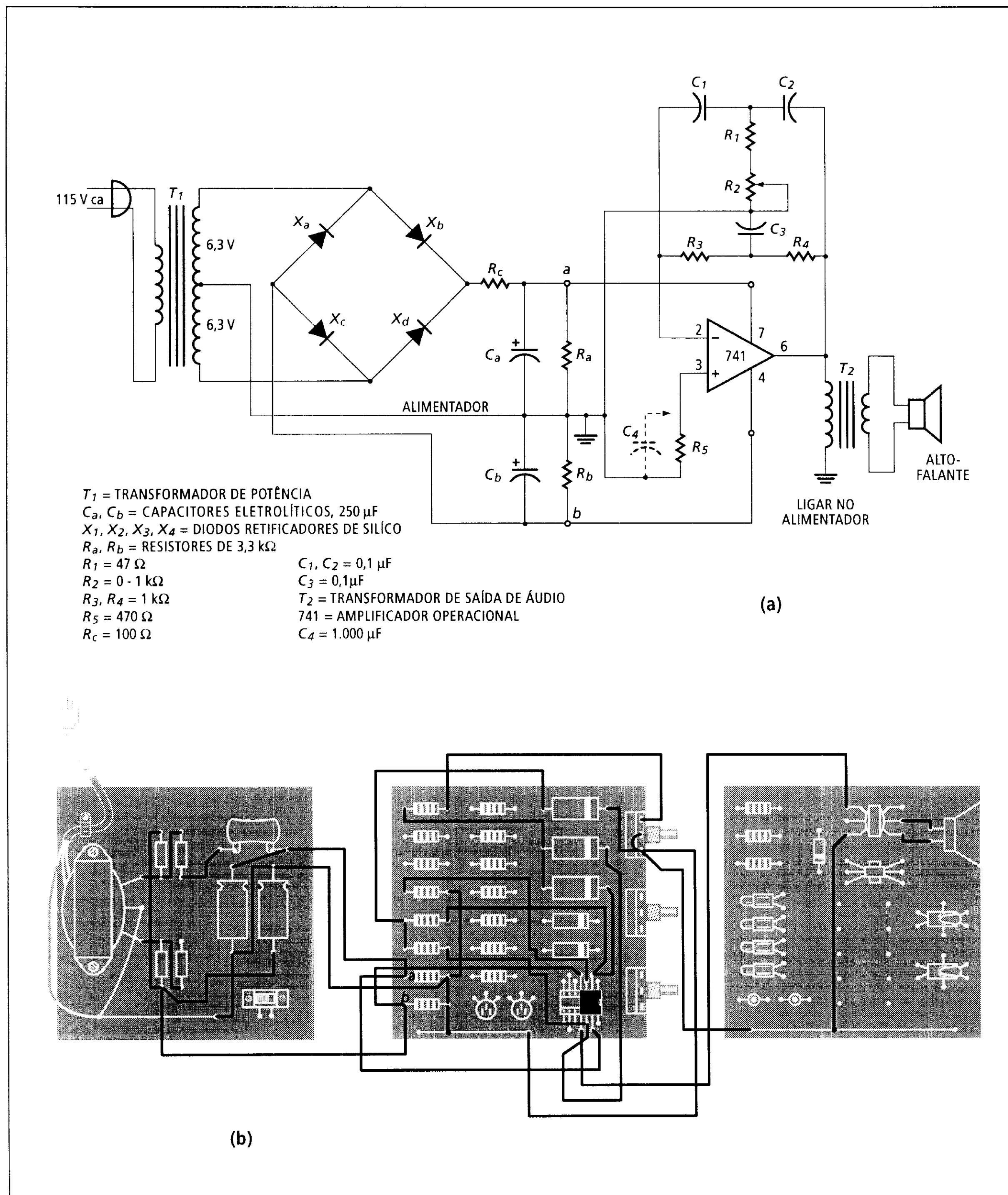


Fig. 12-24: Montagem do teste para a experiência com o oscilador: (**a**) diagrama esquemático; (**b**) diagrama de ligações chapeado.

□ *Etapa 5:* Ligar um capacitor de 1.000 microfarads sobre o resistor que está ligado entre o terminal não-inversor (pino 3) e a massa. Este capacitor está ligado com linhas pontilhadas na Figura 12-24. O oscilador irá parar de funcionar?

....

Sua resposta deve ser não. Isto prova que não há sinal algum de entrada para o terminal não-inversor.

■ CONCLUSÃO

A freqüência de ondulação de um retificador de meia onda é 60 hertz e a freqüência de ondulação de um retificador de onda completa é 120 hertz quando a freqüência da linha de alimentação é 60 hertz. Um técnico deve aprender estes sons. Quando um capacitor eletrolítico de filtro na fonte de alimentação de um sistema de áudio ou num receptor de áudio envelhece, a tensão de ondulação aumenta. O som da freqüência de ondulação será então ouvido no alto-falante.

Os osciladores requerem realimentação positiva (regenerativa) para sua operação. O sinal de realimentação pode ir diretamente para o terminal não-inversor de entrada. Se o sinal de realimentação for diretamente para o terminal inversor de entrada, é necessário usar alguma forma de rede deslocadora de fase para tornar o sinal de realimentação regenerativo.

AUTOTESTE COM RESPOSTAS

(As respostas com discussões encontram-se no final do capítulo / pág.272.)

1. Ondas atenuadas não são usadas em comunicações porque

(a) não podem transmitir uma única freqüência;

(b) exigem muita energia;

(c) exigem tensão muito elevada;

(d) exigem equipamento muito caro para produzi-las.

2. Uma maneira de comunicação consiste em LIGAR e DESLIGAR o portador de rádio-frequência para formar os caracteres do código Morse. Isso é chamado

(a) AM;

(b) FM;

(c) onda contínua;

(d) rádio-freqüência.

3. Qual dos seguintes elementos não é uma seção encontrada em todos os receptores?

(a) antena;

(b) circuito sintonizado;

(c) detector;

(d) fonte de alimentação.

4. Um certo circuito separa a informação de áudio do sinal de rádio-freqüência num receptor. Este circuito é chamado:

(a) detector;

(b) misturador;

(c) conversor;

(d) modulador.

5. Um sinal portador de rádio-freqüência de 1.000 kilohertz é combinado num transmissor com um sinal de áudio de 1 kilohertz. Qual das seguintes proposições está correta?

(a) Não existem faixas laterais.

(b) Existe uma faixa lateral a 1.100 kilohertz.

(c) Existem duas faixas laterais, uma a 1.001 kilohertz e uma a 1.002 kilohertz.

(d) Existem duas faixas laterais, uma a 999 kilohertz e uma a 1.001 kilohertz.

6. Para um gráfico de domínio de freqüência, o eixo horizontal mostra a freqüência e o eixo vertical mostra

(a) tempo;

(b) amplitude;

(c) atraso;

(d) nenhum dos anteriores.

7. Num receptor, o alto-falante converte sinais elétricos em sinais sonoros. O alto-falante é também chamado

(a) modulador;

(b) transdutor;

(c) detector;

(d) reator.

8. Num transmissor FM, a modulação é freqüentemente aplicada a qual estágio?

(a) detector;

(b) oscilador;

(c) amplificador;

(d) multiplicador.

9. Num certo receptor, a rádio-freqüência é 1.000 kilohertz e a freqüência do oscilador local é 1.250 kilohertz. Qual é a freqüência intermediária neste receptor

(a) 750 kilohertz;

(b) 2.250 kilohertz;

(c) 250 kilohertz;

(d) 455 kilohertz.

10. Partindo da premissa de que a freqüência da linha de alimentação é 50 hertz, a freqüência de ondulação de um retificador de onda completa é

(a) 50 hertz;

(b) 100 hertz;

(c) 60 hertz;

(d) 120 hertz.

RESPOSTAS PARA O AUTOTESTE

1. (a) - Nos primeiros dias da rádio-comunicação, as ondas atenuadas eram enviadas na forma de pontos e traços. Estes pontos e traços formavam letras pelo código Morse. Porém, as ondas atenuadas utilizavam um grande campo do espectro de rádio e não era possível sintonizar uma estação e rejeitar todas as outras.

2. (c)

3. (d) - Nem todos os receptores exigem uma fonte de alimentação. Por exemplo, um rádio de cristal não possui uma fonte de alimentação.

4. (a) - No receptor super-heteródino, o detector separa a freqüência intermediária e os sinais de áudio. A freqüência intermediária é rejeitada.

5. (d) - As freqüências da faixa lateral são *a freqüência portadora mais a freqüência de áudio e freqüência portadora menos a freqüência de áudio.*

1.000 kilohertz + 1 kilohertz = 1.001 kilohertz
(faixa lateral superior)
1.000 kilohertz − 1 kilohertz = 999 kilohertz
(faixa lateral inferior)

6. (b) - O eixo vertical mostra a amplitude tanto no gráfico de domínio de tempo como no gráfico de domínio de freqüência.

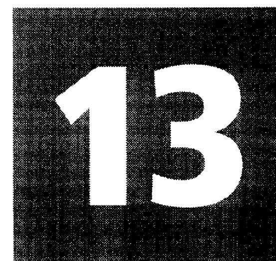
7. (b)

8. (b) - Em muitos transmissores FM, a modulação de áudio é aplicada diretamente ao estágio oscilador.

9. (c) - Os rádios de automóveis podem ter freqüências intermediárias de 50 kilohertz.

10. (b) - A freqüência de ondulação de um retificador de onda completa é igual ao dobro da freqüência da linha de alimentação.

Como funcionam os Sistemas de Áudio?



INTRODUÇÃO

Quando você pensa na palavra *áudio,* você pensa provavelmente nos sistemas de alta-fidelidade. Muitos destes sistemas de entretenimento doméstico são os mais sofisticados de todos os sistemas de áudio. Porém, os técnicos estão trabalhando também em outros tipos de equipamentos de áudio.

Uma aplicação do áudio em eletrônica pode ser encontrada nos sistemas de audição pública. Estes sistemas podem ser simples amplificadores de potência ou arranjos muito sofisticados para salas de espetáculos. Um técnico que trabalha em sistemas de audição pública deve ter um conhecimento muito bom dos princípios das ondas sonoras e da audição.

Uma outra aplicação de áudio em eletrônica pode ser encontrada nos sistemas de *intercomunicadores.* Estes sistemas variam de sistemas relativamente simples entre duas salas ou entre dois escritórios, até sistemas muito sofisticados com centrais telefônicas e meios de discagem.

Instrumentos musicais eletrônicos constituem outro campo muito importante de áudio. Os instrumentos vão desde amplificadores relativamente simples para violão até órgãos eletrônicos que produzem sons de muitos instrumentos musicais.

Cada um destes campos de áudio tem seu equipamento especial para teste e localização de defeitos. Neste capítulo iremos nos concentrar no assunto referente aos sistemas de alta-fidelidade. Eles possuem os mesmos componentes usados em outros sistemas de áudio, porém, os requisitos de potência podem ser diferentes. Por exemplo, um alto-falante num sistema de alta-fidelidade não será chamado a fornecer tanta potência, quanto um alto-falante externo projetado para uso num estádio. Mesmo assim, os princípios básicos de operação são os mesmos.

Depois de estudar este capítulo, você poderá responder às seguintes perguntas:

- **Quais são os componentes de um sistema de áudio de alta-fidelidade?**
- **Como são usados transdutores em sistemas de áudio?**
- **Como é controlada a qualidade do som de um alto-falante?**
- **O que faz o sintonizador num sistema de áudio?**
- **O que há de especial nos amplificadores de tensão e de potência de áudio?**
- **Por que foi desenvolvido o som quadrifônico?**
- **Quais são as diferenças entre a gravação em fita e a gravação em disco?**

INSTRUÇÃO

Quais são os componentes de um Sistema Áudio de Alta-Fidelidade?

A Figura 13-1 mostra um diagrama de blocos de um sistema simples de alta-fidelidade. Existem aqui quatro modalidades possíveis de sinais de entrada: *toca-fitas, sintonizador AM-FM, toca-discos e receptor de TV.* A chave S_1 seleciona a entrada desejada e fornece o sinal aos amplificadores de tensão.

Os amplificadores de tensão não diferem muito dos amplificadores de tensão usados em outros sistemas. Uma diferença básica é que é dada maior importância à largura da faixa do que para o ganho do que em outros campos da eletrônica.

A saída dos amplificadores de tensão passa para os circuitos de compensação de freqüência. Em alguns sistemas, tais circuitos podem ser parte integrante dos amplificadores. Os circuitos de compensação de freqüência tornam possível o ajuste dos sistemas para que se obtenha um som mais agradável; o controle do tom ou controles de graves e agudos são exemplos de circuitos existentes nesta seção.

Os amplificadores de potência constituem o estágio seguinte. Estes amplificadores são capazes de fornecer um amplo volume de corrente de áudio para os transdutores de saída (alto-falantes).

Num sistema de alta-fidelidade, os transdutores de saída são os *alto-falantes*. Grande parte do custo total de um bom sistema de áudio encontra-se mais provavelmente nos alto-falantes.

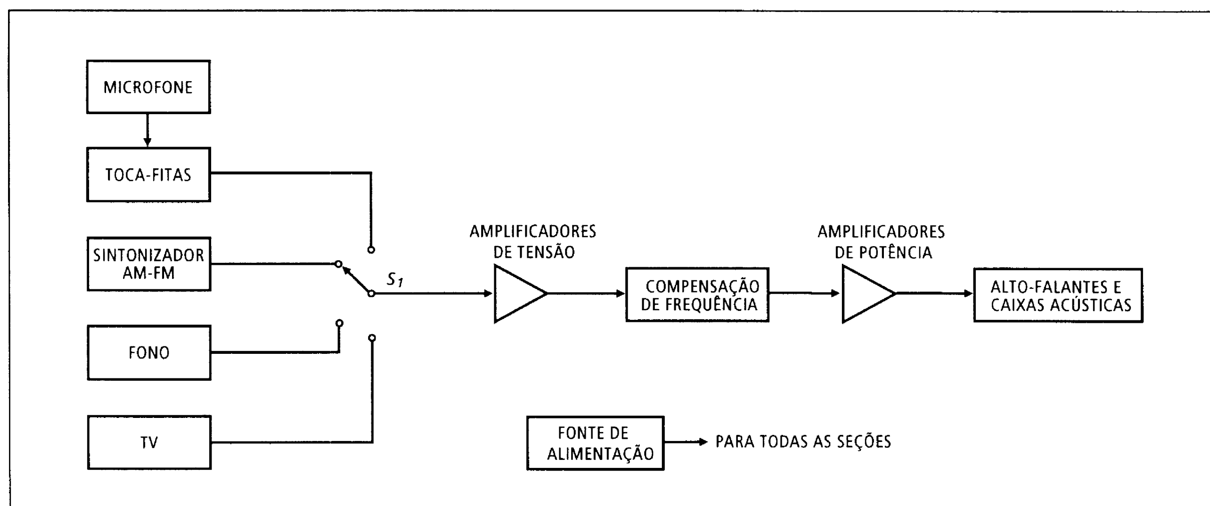
A caixa acústica dos alto-falantes é muito importante para a qualidade do som produzido. Uma *caixa acústica* é a caixa na qual é localizado o alto-falante. É ela que proporciona a qualidade do som produzido. Independentemente de quanto você gastou com o alto-falante, o sistema não irá produzir um som de boa qualidade a menos que a caixa acústica seja bem projetada.

Todos os sistemas de áudio possuem fontes de alimentação. Num sistema de áudio de alta qualidade, é possível que sejam usadas fontes de alimentação separadas para o amplificador de potência e o amplificador de tensão. Além disso, cada uma das unidades que fornecem um sinal ao sistema pode ter sua fonte de alimentação individual. Isto é particularmente certo nos receptores de TV e nos sintonizadores AM/FM. Como para qualquer sistema eletrônico, o sistema de áudio não pode funcionar adequadamente a menos que cada fonte de alimentação esteja fornecendo a tensão e corrente necessárias.

Como são usados Transdutores em Sistemas de Áudio?

Um transdutor é um componente que permite que a energia de um sistema possa controlar a energia num outro sistema. O microfone é um exemplo de transdutor porque a energia sonora controla a quantidade de energia elétrica do microfone.

Fig. 13-1: Diagrama de blocos de um sistema de áudio em alta-fidelidade.



Da mesma forma, um alto-falante é um transdutor porque a quantidade de energia fornecida ao alto-falante controla a quantidade de energia sonora que deixa o alto-falante.

A definição de um *transdutor* é freqüentemente simplificada para indicar um dispositivo que converte a energia de uma forma para outra. Fisicamente, isto não está correto; porém, é uma definição popular. Num sistema de áudio os transdutores importantes são: o microfone para o gravador de fitas, as cabeças do gravador para gravar e tocar fitas, a cápsula para tocar discos e o alto-falante. Iremos agora discutir os princípios de operação destes transdutores.

Coma funciona um Microfone?

A Figura 13-2 mostra cinco tipos básicos de microfones usados em sistemas de áudio. Cada um deles apresenta vantagens e desvantagens, de modo que nenhum tipo de microfone pode ser usado em todas as aplicações.

O *microfone a carvão* é um dos tipos mais antigos. Está ilustrado na Figura 13-2a. Consiste de um pacote ou uma bola de grânulos de carvão soltos. A bateria *E* provoca um fluxo de corrente através do carvão e através do resistor de carga *R*. A intensidade da corrente depende do valor da tensão usada, da resistência do pacote de carvão e da resistência de carga.

Quando as variações de pressão do ar causadas pelo som atingem o microfone, os grânulos de carvão sofrem uma compactação (sob alta pressão) e, em seguida, uma soltura (sob baixa pressão). Quando os grânulos estão compactados, sua resistência é baixa; quando estão soltos, sua resistência é elevada. Isto significa que o som altera a resistência do circuito alterando a compactação dos grânulos de carvão. Isto, por sua vez, altera a intensidade da corrente que flui no circuito e o valor da tensão sobre o resistor de carga. O sinal de saída do sistema carvão-microfone é uma tensão de áudio.

Uma desvantagem do microfone a carvão é que é preciso usar uma fonte de alimentação para gerar o fluxo de corrente. A maioria dos outros tipos de microfones geram sua própria energia elétrica. Ademais, proporcionam resposta limitada de freqüência, porém, alta tensão do sinal de saída.

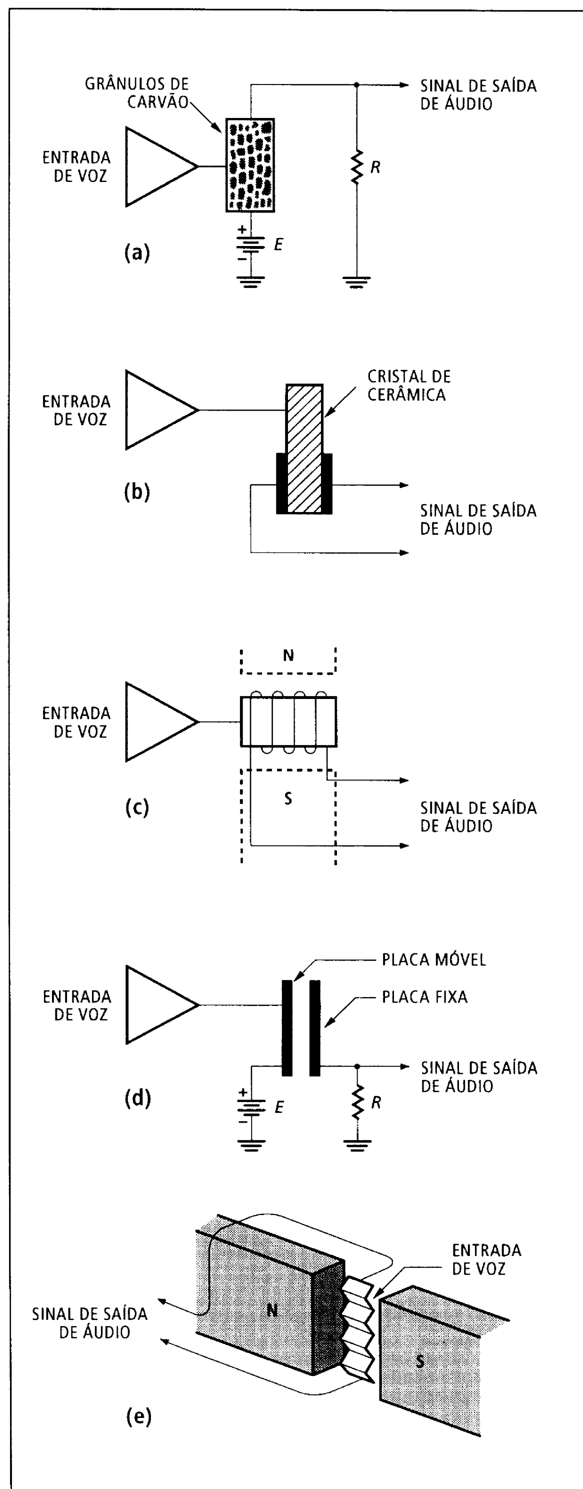


Fig. 13-2: Tipos de microfones: (**a**) microfone a carvão; (**b**) microfone com cristal de cerâmica; (**c**) microfone dinâmico; (**d**) microfone a condensador; (**e**) microfone de fita.

Um outro tipo de microfone é o *microfone a cristal de cerâmica*, ilustrado na Figura 13-2b. Originalmente, estes microfones eram chamados microfones a cristal. Porém, nos sistemas modernos, os cristais foram substituídos por um material cerâmico que é mais resistente. O princípio de operação é o efeito piezoelétrico. O som que incide sobre o microfone causa o deslocamento do cristal em vaivém. Como você sabe, quando um cristal sofre flexão, ele gera uma tensão sobre sua superfície. O valor da tensão é diretamente proporcional à intensidade do som que atinge o microfone. A saída é uma tensão de áudio que é diretamente proporcional ao som de entrada.

Os microfones a cristal de cerâmica são muito resistentes e é fácil projetar um circuito para a utilização com um microfone a cristal. Você verificará que são extensivamente usados. Proporcionam boa resposta de freqüência de alta-tensão de saída.

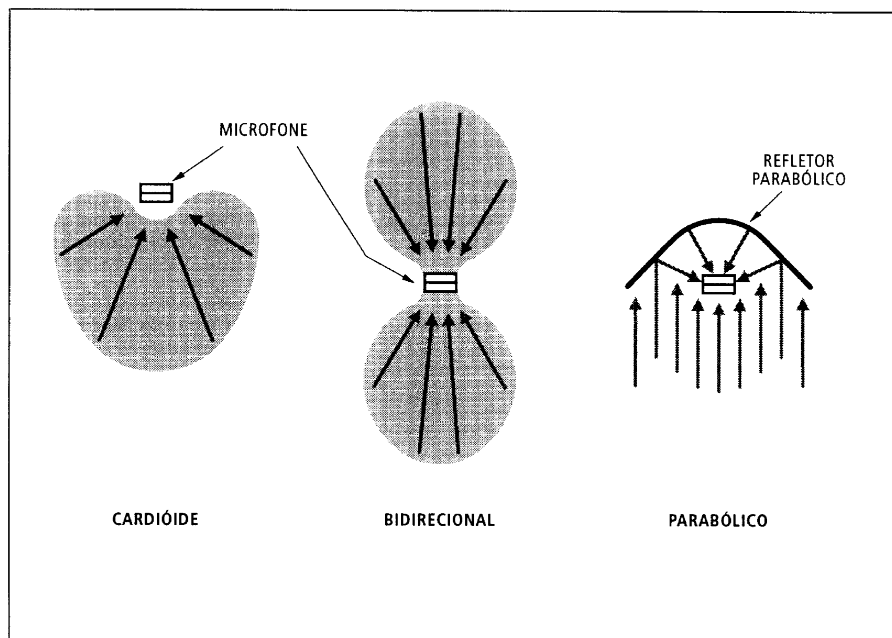


Fig. 13-3: Três microfones demonstrando características direcionais.

O *microfone dinâmico* na Figura 13-2c funciona baseado no princípio da lei de Faraday. Esta lei afirma que, toda vez que um condutor se desloca dentro de um campo magnético, é gerada uma tensão. Neste tipo de microfone, uma bobina desloca-se no campo de um ímã permanente. Conforme a bobina se desloca, induz-se nela uma tensão que é diretamente proporcional à energia sonora.

Toda vez que você observar a palavra *dinâmico* aplicada a um transdutor, trata-se em geral de algum tipo de transdutor no qual um condutor se desloca dentro de um campo magnético. Este tipo de transdutor possui excelente resposta de freqüência, porém, com baixa tensão de saída.

A Figura 13-2d mostra o princípio de operação de um *microfone a condensador.* Algum tempo atrás, os capacitores eram chamados de *condensadores* e esta é a razão para o nome. Apesar da denominação capacitor ser absoluta, a denominação *microfone a condensador* ainda persiste. Uma das placas do capacitor no microfone é móvel e a outra está numa posição fixa. O som que incide sobre o microfone provoca uma aproximação da placa móvel com alta pressão sonora e um afastamento da placa móvel com baixa pressão sonora. Uma vez que a capacitância de um capacitor depende da distância entre as placas, a capacitância varia com o som.

Quando a capacitância aumenta, o capacitor pode conservar uma carga maior e uma corrente de carga flui numa direção através de *R*.

Quando a capacitância for menor, o capacitor não pode mais conservar sua carga e deve descarregar através de *R*, fazendo com que haja fluxo de corrente no sentido oposto. O resultado é uma corrente variável através de *R* que produz uma tensão de áudio. Estes microfones possuem boa resposta de freqüência, porém, baixa tensão de saída.

A Figura 13-2e mostra os componentes básicos de um *microfone de fita*. A fita é, de fato, uma peça de alumínio ondulado altamente flexível. Quando um som incide sobre esta peça de alumínio, a mesma vibra. O alumínio é um condutor, de modo que quando se desloca num campo magnético produz uma tensão sobre ele. Esta é uma tensão de áudio. Tanto o microfone de fita como o microfone dinâmico operam sob o princípio da lei de Faraday. Estes microfones possuem excelente resposta de freqüência, porém, baixa tensão de saída.

Os microfones são também identificados pelas suas características direcionais. A Figura 13-3 mostra três exemplos. O tipo *cardióide* pode receber energia sonora diretamente de frente e a um grau menor dos lados. A resposta é em forma de coração.

Os *microfones bidirecionais* podem receber energia sonora de qualquer uma das duas direções indicadas. Um *microfone parabólico* é um microfone altamente direcional que pode receber energia apenas numa faixa estreita numa única direção, ou seja, de frente. Os usuários escolhem o microfone com a característica direcional que melhor se adapte às suas necessidades.

RESUMO

1. Um técnico de áudio pode trabalhar em sistemas de alta-fidelidade (hi-fi), sistemas de audição pública, sistemas de intercomunicação ou instrumentos musicais eletrônicos.
2. O sistema de alta-fidelidade possui o maior número de componentes individuais.
3. Exemplos de sistemas de entrada para um sistema de alta-fidelidade são: toca-fitas, toca-discos, sintonizadores AM-FM e o sinal de áudio de TV.
4. Definição correta de um transdutor: é um componente no qual a energia de um sistema controla a energia de outro sistema.
5. Definição mais simples (porém, não tão exata) de um transdutor: é um componente que transforma energia de uma forma para outra.
6. Exemplos de transdutores de entrada num sistema de alta-fidelidade são: microfones, cabeças de toca-fitas e cápsulas de toca-discos.
7. Um alto-falante é um exemplo de transdutor de saída num sistema de alta-fidelidade.
8. Alguns dos tipos mais comuns de microfones são os microfones dinâmicos e os microfones a condensador.

Como funciona um Gravador de Fitas?

A primeira tentativa de gravação magnética usava um fio feito de material que podia ser magnetizado por uma corrente de sinal de áudio. Havia muitos problemas com o gravador de fio. Um problema sério é que o fio quebrava e oscilava. Um outro problema sério era a resposta de freqüência deficiente do fio magnético.

Para contornar estes problemas, foi desenvolvido o gravador de fitas. O princípio básico do gravador de fitas está indicado na Figura 13-4. A fita consiste de uma camada de material magnético sobre uma fita plástica. Para fazer uma gravação, a fita é passada sobre uma abertura na cabeça de gravação. Ao mesmo tempo, o sinal de áudio magnetiza a cabeça primeiramente num sentido (durante uma alternância) e, em seguida, no outro sentido (durante a alternância seguinte). O campo magnético na abertura da cabeça de gravação passa facilmente através do revestimento de óxido, tornando o mesmo permanentemente magnetizado.

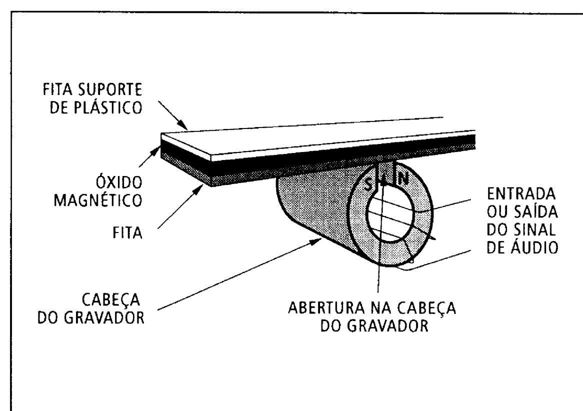


Fig. 13-4: Transdutor para gravação e reprodução de fitas.

O transdutor do toca-fitas é semelhante àquele indicado na Figura 13-4. O que ocorre é que a fita magnetizada é passada sobre a abertura na cabeça. O campo magnético permanente na fita provoca um escoamento das linhas de fluxo na cabeça do gravador. A variação do campo magnético induz uma tensão na bobina. Esta é a tensão de saída de áudio desejada.

Teoricamente, a mesma cabeça poderia ser usada para gravar e para tocar a fita; porém, nos gravadores de fita de melhor qualidade, usa-se uma cabeça separada para cada função. Isto possibilita projetar as cabeças para maior eficiência para tocar as fitas e para gravá-las.

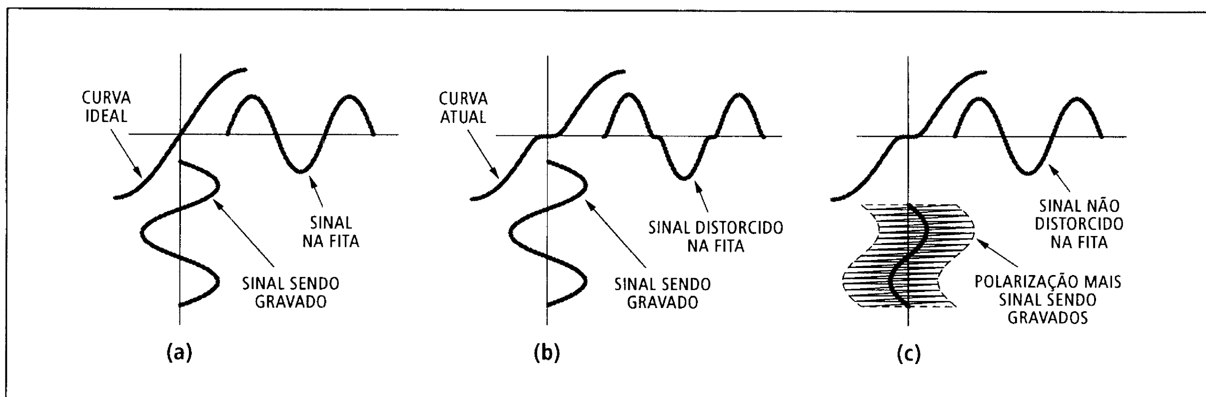


Fig. 13-5: Como a polarização elimina a distorção: (**a**) curva linear de magnetização; (**b**) distorção devida à curva não-linear; (**c**) uso da polarização para eliminar a distorção.

Um dos problemas com gravadores magnéticos de fita é que os materiais magnéticos podem produzir uma distorção dos sinais gravados. Este problema está ilustrado na Figura 13-5.

A Figura 13-5a mostra uma resposta ideal entre a força magnetizante e o teor de magnetismo permanente estabelecido por esta força. A força magnetizante é proveniente do campo magnético da bobina sobre a cabeça de gravação. Observe que conforme o sinal de áudio altera a força magnetizante, o teor de magnetismo estabelecido sobre a fita segue exatamente o sinal de áudio. Infelizmente, isto é uma condição ideal que nunca pode ser atingida.

A curva atual de magnetização está indicada na Figura 13-5b. Observe que a curvatura nesta curva de magnetização mostra a distorção do sinal de áudio especialmente no ponto de transição. O ponto de transição é o ponto onde a força magnetizante é quase igual a zero. A curva característica, conforme indicado na Figura 13-5b, causa a distorção do sinal gravado.

Para contornar o problema de distorção, um sinal alternado de polarização de alta freqüência é aplicado constantemente à cabeça de gravação quando uma gravação é feita. O sinal de áudio sendo gravado faz aumentar e diminuir o sinal de polarização, conforme indicado na Figura 13-5c. A ilustração mostra a amplitude máxima do áudio sendo gravado. Você poderá notar que isto impede o sinal gravado de passar para a região não-linear da curva.

À primeira vista, você poderia pensar que o sinal de polarização iria causar um problema de interferência, porque ele é também gravado na fita. Porém, a freqüência do sinal de polarização situa-se bem acima da freqüência que o ouvido humano pode captar. Portanto, quando a fita é tocada, você não notará a presença do sinal de polarização.

Em resumo, o sinal de polarização é parte importante de todos os sistemas para gravação de fitas. É necessário porque a não-linearidade da curva de magnetização causa distorção do sinal gravado.

Quais são os componentes de um Conjunto de Cabeças de Gravação?

A Figura 13-6 mostra uma cabeça de gravação. Poderia ser tanto para gravar como para tocar fitas. Podemos observar que a cabeça é projetada de tal forma que a fita encosta na superfície, conforme vai passando. Uma almofada de pressão (não indicada na figura) segura firmemente a fita contra a ranhura existente na cabeça. A almofada de pressão pode ser vista no conjunto de gravação ilustrado na Figura 13-7.

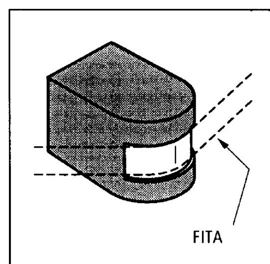


Fig. 13-6: Conjunto cabeça-fita.

A superfície de gravação na fita é revestida com material magnético que pode ser parcialmente removido depois de um longo período de uso. Isto deixa partículas de material magnético sobre a cabeça. Quando estas partículas começam a acumular-se na ranhura, a cabeça de gravação não pode mais funcionar. Portanto, parte do processo de manutenção para gravadores de fita consiste em limpar a cabeça. Existem soluções especiais para esta finalidade.

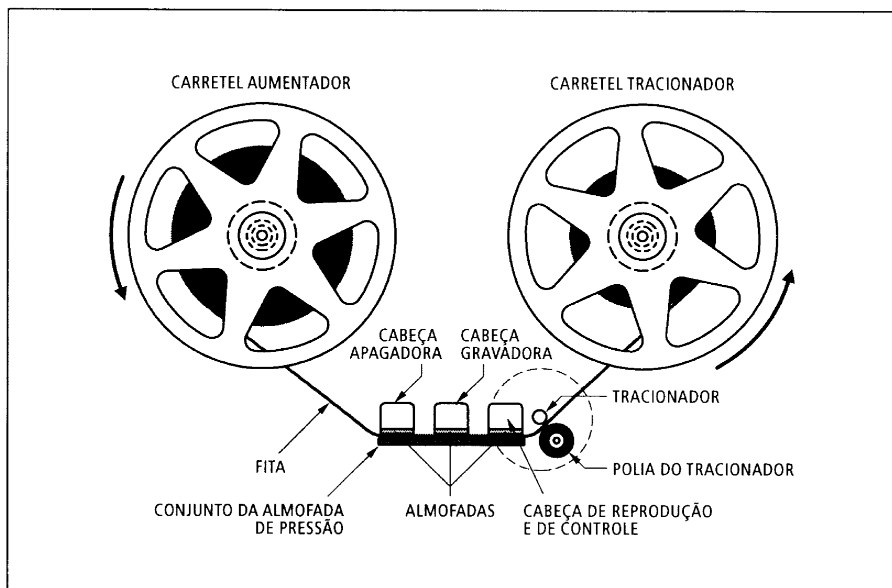


Fig. 13-7: Conjunto de placa de um gravador de fita.

A velocidade da fita, conforme a mesma vai passando através do conjunto de gravação, deve ser mantida constante para que a fita possa ser tocada em qualquer gravador. Se você permitir o carretel acionador de puxar a fita através do conjunto de gravação, a velocidade da fita irá mudar conforme a mesma for se acumulando no carretel. Você deve lembrar que a velocidade linear (isto é, a velocidade da fita) é igual à velocidade angular (número de rotações por minuto do carretel de fita) vezes o raio (da fita sobre o carretel acionador). Para um raio pequeno, a velocidade da fita é baixa e aumenta conforme o raio da fita aumenta sobre o carretel.

Para contornar este problema, os gravadores de fita de boa qualidade não permitem que o carretel puxe diretamente a fita. Em vez disso, um *tracionador*, que não é mais que um pequeno cilindro metálico, puxa a fita. A fita é presa entre o tracionador e a polia. O conjunto tracionador-polia está indicado na Figura 13-7. Com este tipo de arranjo, a velocidade da fita não depende da quantidade de fita existente no carretel enrolador. O carretel enrolador guia simplesmente através de um mecanismo de engate que enrola a fita depois de a mesma ter passado pelo tracionador.

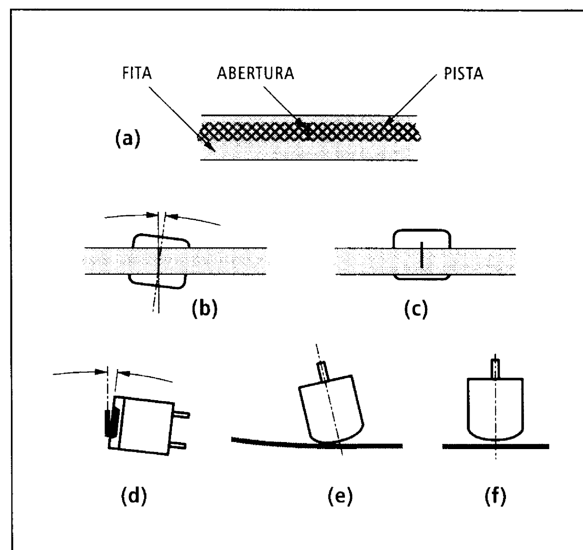
Gravadores de fita baratos às vezes não possuem este acionamento por tracionador. A fita gravada neste gravador de fita não pode ser tocada por um gravador de fita de velocidade constante com acionamento por tracionador.

Não basta passar a fita sobre a cabeça à velocidade constante, mas também o alinhamento da cabeça deve ser correto para o sistema trabalhar sem distorção.

A Figura 13-8 mostra os problemas de alinhamento com a ranhura das cabeças. A ranhura deve ser perfeitamente vertical e estar alinhada corretamente conforme indicado na Figura 13-8a. A ranhura, evidentemente, é uma parte fixa da cabeça de gravação.

Existem várias maneiras de a ranhura sair de ajuste. A condição indicada na Figura 13-8b é chamada de ajuste incorreto de *azimute*. Como podemos observar, a ranhura está defasada por um certo ângulo com a pista. Partindo da premissa de que a ranhura na cabeça de gravação está perfeitamente vertical, então a cabeça do toca-fitas, com ajuste incorreto de azimute, não poderá mais reproduzir corretamente os sinais de áudio. Neste caso, a cabeça não está exatamente perpendicular à fita.

Fig. 13-8: Problemas de alinhamento com cabeças de gravador: (**a**) alinhamento correto da abertura; (**b**) azimute incorreto; (**c**) altura incorreta;(**d**) inclinação; (**e**) tangência; (**f**) contato.



A Figura 13-8c mostra uma outra maneira de a ranhura estar fora de alinhamento. Neste caso, a ranhura não está no centro da pista gravada, de modo que a intensidade do campo magnético induzido na ranhura não será suficiente para produzir um sinal não-distorcido. Erros de alinhamento em inclinação, tangência e contato estão indicados nas Figuras 13-8d, 13-8e e 13-8f.

A maioria dos sistemas usados para gravar e tocar fitas possuem um amplificador próprio; porém, no sistema de áudio da Figura 13-1 (pág. 274), a saída do som da fita é passada através do sistema de alta-fidelidade.

Como funciona um Toca-Discos?

O princípio do toca-discos está indicado na Figura 13-9. Na superfície do disco existem pequenos sulcos ondulados que contêm a informação de áudio. Conforme o disco vai tocando, a agulha desloca-se para frente e para trás, conforme ela vai seguindo o sulco. Este movimento de vaivém produz uma tensão no transdutor. Este transdutor é chamado *cápsula*. Neste caso, a cápsula é um transdutor que converte o movimento mecânico num sinal elétrico de áudio.

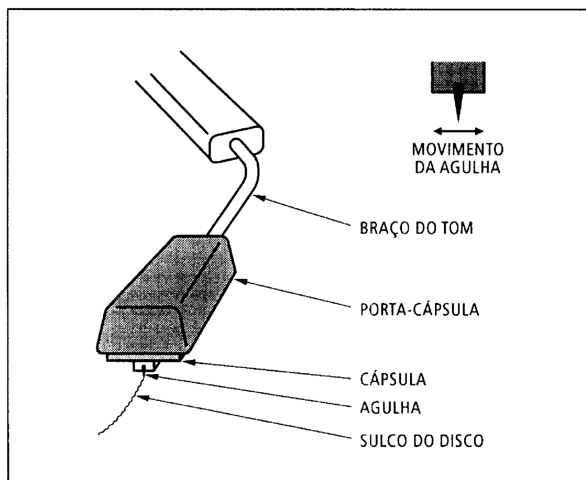


Fig. 13-9: Princípio de gravação em disco.

Qualquer transdutor que converta precisamente o movimento mecânico num sinal elétrico pode ser usado num sistema de toca-discos.

A Figura 13-10 mostra os métodos mais populares para obter isto. Na Figura 13-10a a agulha está ligada a um suporte na bobina. Conforme a agulha desloca-se em vaivém, no sulco, ela força a bobina a deslocar-se em relação ao campo magnético e produz uma tensão de áudio. Este tipo de transdutor de cápsula é chamado de *cápsula dinâmica*.

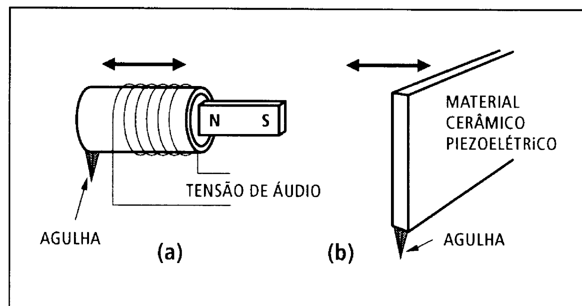


Fig. 13-10: Transdutores para toca-discos: (**a**) eletromagnéticos; (**b**) cerâmicos.

A Figura 13-10b mostra o sistema envolvido numa *cápsula de cerâmica*. Aqui usa-se o efeito piezoelétrico. O material cerâmico gera uma tensão conforme a agulha em movimento faz a cápsula defletir para frente e para trás.

Para obter a máxima *fidelidade* (fidelidade de reprodução do som gravado), a agulha deve assentar corretamente no sulco. Uma agulha com ponta gasta irá destruir o disco, de modo que parte importante do serviço do técnico de áudio é o de observar à ponta da agulha através de um microscópio ou de uma lente de aumento.

RESUMO

1. Os primeiros gravadores magnéticos usavam fio magnético em vez de fita. Apresentavam um sério problema, uma vez que a resposta de freqüência era deficiente.
2. A fita usada em sistemas modernos possui um revestimento de material magnético sobre uma fita de material plástico.
3. Uma gravação magnética é obtida passando-se a fita sobre uma ranhura. Um campo variável na ranhura é produzido por uma corrente de áudio na bobina em volta da cabeça de gravação.
4. Durante a reprodução, os campos magnéticos na fita induzem um fluxo na cabeça de reprodução. Isto, por sua vez, induz uma tensão de áudio na bobina em volta da cabeça de reprodução.

5. A curva de magnetização do material da cabeça não é linear. Isto iria causar distorção no áudio gravado, se não fosse usado um sinal alternado de polarização.

6. O sinal alternado de polarização faz com que o áudio gravado seja focalizado na porção linear da curva de magnetização. A freqüência de polarização é tão elevada que não produz sinais audíveis durante a reprodução.

7. Um acionamento por tracionador é geralmente usado para puxar a fita sobre a cabeça a uma velocidade constante (as velocidades típicas são 1-7/8, 3-3/4 e 7-1/2 polegadas por segundo).

8. O transdutor para reprodução de discos é uma cápsula. A cápsula converte o movimento mecânico de uma agulha em sinais elétricos de áudio.

9. A agulha desloca-se em vaivém, conforme vai seguindo o sulco do disco. Este movimento está relacionado com o áudio que foi gravado sobre o disco.

10. Dois tipos populares de cápsulas são: a cápsula dinâmica e o cristal de cerâmica.

Como funciona um Alto-Falante?

Os transdutores discutidos até aqui foram usados para fornecer sinais para a entrada do sistema de áudio. Existe, evidentemente, também o transdutor que converte os sinais elétricos em energia sonora. O transdutor pode ser um alto-falante ou fones de ouvido. Os dois tipos principais de alto-falantes estão indicados na Figura 13-11.

No *alto-falante dinâmico* da Figura 13-11a, o sinal de áudio provoca o fluxo de corrente de áudio na bobina. A bobina está ligada ao cone. A corrente de áudio provoca um campo magnético variável em volta da bobina. Este campo reage ao campo do ímã permanente e faz com que a bobina (e o cone) se movimentem em vaivém. O cone provoca a vibração das moléculas de ar e produz o som que você ouve. Quase todos os alto-falantes em uso operam sobre este princípio.

Um *alto-falante eletrostático* está indicado na Figura 13-11b. Este alto-falante opera sob o princípio de que cargas opostas atraem-se e cargas iguais repelem-se. Uma tensão de áudio é aplicada entre a placa fixa e a

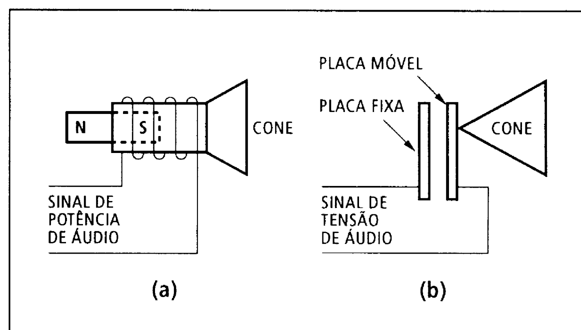


Fig. 13-11: Dois tipos de alto-falantes: (**a**) dinâmico; (**b**) eletrostático.

placa móvel. Você pode observar que as duas placas e o dielétrico formam um capacitor. Conforme este capacitor carrega-se e descarrega-se, a atração entre as placas varia, acompanhando o sinal de áudio.

Uma vez que o cone do alto-falante é fixado à placa móvel, ele desloca-se em vaivém com o sinal de áudio. Isto causa a vibração das moléculas de ar produzindo o som que você ouve.

Como é controlada a qualidade do som de um Alto-Falante?

Em geral, nenhum alto-falante sozinho produz a gama total dos sons de áudio que o ouvido humano pode captar. Alto-falantes com cones de grande diâmetro (10 polegadas ou mais) podem reproduzir melhor os tons de baixa freqüência, enquanto alto-falantes com cones de diâmetro pequeno podem reproduzir melhor as altas freqüências. Alto-falantes especialmente projetados para reproduzir sons de baixa freqüência são chamados *woofers*. Alto-falantes especialmente projetados para reproduzir sons de alta freqüência são chamados *tweeters*. Em alguns sistemas de áudio, existe um terceiro tipo de alto-falante projetado para reproduzir sons na faixa intermediária de freqüência, sendo às vezes chamados *squawkers*.

A Figura 13-12 mostra um *alto-falante coaxial*. Consiste simplesmente de um alto falante *woofer* e um alto-falante *tweeter* montados no mesmo suporte. Este alto-falante pode produzir uma ampla gama de freqüências de áudio, porém, é necessário que o áudio fornecido ao alto-falante seja separado em dois componentes distintos. O circuito usado para separar estes componentes é chamado de *divisor de freqüência*. Consiste simplesmente de uma combinação de filtros para

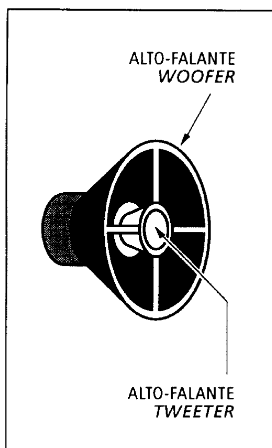


Fig. 13-12: Alto-falante coaxial.

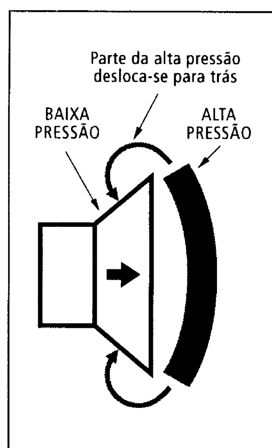


Fig. 13-13: Causa de baixo volume de um alto-falante não montado em caixa acústica.

passar freqüências baixas e médias para o alto-falante *woofer* e as altas freqüências para o alto-falante *tweeter.*

Em vez de usar um alto-falante coaxial, como aquele indicado na Figura 13-12, alguns projetistas preferem montar vários tamanhos diferentes de alto-falantes numa mesma placa. Ao fazer isto, você ainda tem o mesmo problema de direcionar as freqüências baixas e médias para os alto-falantes *woofers* e as altas freqüências para os alto-falantes *tweeters.*

O alto-falante em si não produz um som de alta-fidelidade. Você pode comparar o alto-falante à voz humana. Não é apenas o som das cordas vocais que proporciona à voz humana sua qualidade individual, mas é, também, a forma da cavidade bucal que ajuda a formar os sons das vogais e das consoantes. Da mesma forma, o som característico dos alto-falantes depende não apenas da qualidade do alto-falante, mas da maneira como o mesmo é montado.

Pressões desiguais do ar sempre tendem a equalizar-se, e isto tende a reduzir a intensidade do som do alto-falante. A Figura 13-13 mostra como isto ocorre. Quando o alto-falante desloca-se para frente, ele produz uma alta pressão na sua parte posterior. Em vez da pressão de ar simplesmente deslocar-se na frente do alto-falante, parte do ar volta para trás, para equalizar parcialmente com a baixa pressão criada pelo movimento do cone para fora. O resultado é um som reduzido, particularmente nas baixas freqüências.

A montagem simples do alto-falante indicada na Figura 13-14 é chamada *desviador.* O desviador aumenta a distância de deslocamento do ar entre a parte frontal e a parte traseira do alto-falante, reduzindo grandemente a perda de pressão sonora indicada na Figura 13-13. Ao montar um alto-falante num desviador, você pode, geralmente, notar o aumento da intensidade do som.

Se um alto-falante for montado no centro do desviador, pode tender a ter o volume máximo para uma freqüência particular. Montando o alto-falante fora de centro conforme indicado na Figura 13-14, a resposta do alto-falante é mais uniforme sobre uma ampla gama de freqüências.

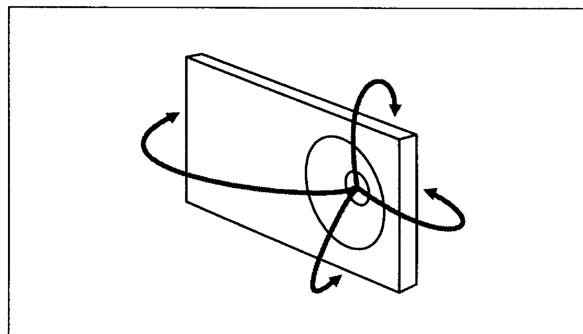
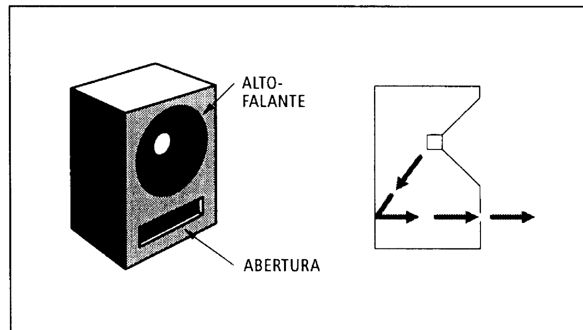


Fig. 13-14: A placa defletora reduz a problema da perda de pressão.

O desviador é bastante eficiente, porém, a pressão do ar pode ainda voltar parcialmente por trás do alto-falante. Uma maneira ainda melhor de melhorar o som consiste em usar uma *caixa acústica* para o alto-falante. Um exemplo disto está ilustrado na Figura 13-15. Uma vez que o alto-falante está montado numa caixa, é mais difícil que as pressões se equalizem.

A caixa ilustrada na Figura 13-15 é chamada de *caixa acústica com reflexos de baixas.* Esta caixa possui uma abertura para melhorar a resposta em baixas freqüências. Os sons de baixa freqüência são refletidos pela parte traseira da caixa, passam através da abertura e

Fig. 13-15: Caixa acústica com reflexos de baixas.



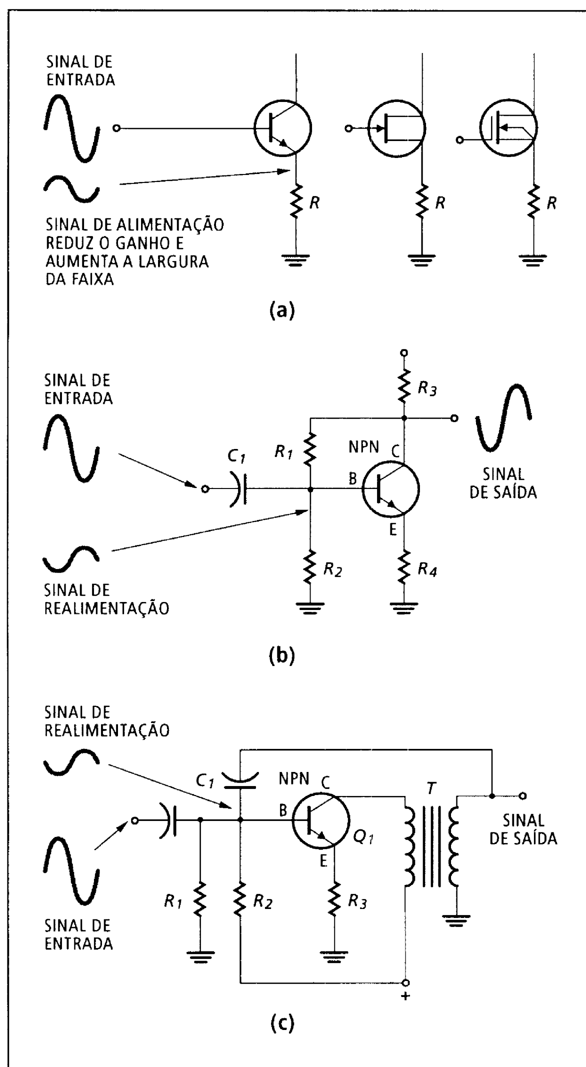


Fig. 13-16: Circuitos de realimentação: (**a**) circuitos de entrada em corrente contínua; (**b**) coletor-base; (**c**) saída de transformador.

Na Figura 13-16b, os resistores de polarização R_1 estão ligados ao coletor em vez de estarem ligados ao terminal positivo da fonte de alimentação. Variações na tensão de áudio ocorrem sobre o resistor de carga R_3. A tensão de áudio no coletor está em oposição de fase com o sinal de entrada. Parte deste sinal de saída retorna para a base do transistor através do divisor de tensão de polarização que consiste de R_1 e R_2, de modo que deve ser subtraído do sinal de entrada.

A Figura 13-16c mostra um terceiro circuito de realimentação.

Com este método, uma tensão de realimentação é tirada do secundário de um transformador de acoplamento. Este sinal retorna à base do transistor através de C_1. Como no caso dos outros circuitos, o sinal de realimentação subtrai-se parcialmente do sinal de entrada para reduzir o ganho e aumentar a largura de faixa de estágio.

A realimentação negativa num amplificador proporciona duas outras vantagens importantes. Reduz a distorção do áudio e melhora também a estabilidade do amplificador. Isto é, reduz a tendência do amplificador para oscilar.

O circuito de realimentação da Figura 13-16b só pode ser usado com transistores bipolares ou transistores MOSFET tipo aumento. Os circuitos das Figuras 13-16a e 13-16c podem ser usados com todos os componentes amplificadores.

A Figura 13-17 mostra dois tipos importantes de amplificadores de potência usados em áudio.

O *amplificador tipo push-pull* da Figura 13-17a usa dois transistores de potência NPN. O circuito irá também operar com transistores PNP, válvulas a vácuo e transistores FET. Neste circuito o sinal de entrada de áudio vai para o primário de T_1. O secundário de T_1 possui uma derivação central, de modo que os dois sinais de entrada do secundário (*a* e *b*) estão defasados em 180°. Em outras palavras, *a* é positivo quando *b* é negativo e *a* é negativo quando *b* é positivo.

Uma vez que Q_1 e Q_2 são transistores NPN, eles irão conduzir quando a tensão na base dos mesmos estiver positiva. Numa alternância, Q_1 conduz porque *a* é positivo. Ao mesmo tempo, *b* é negativo e Q_3 é desligado. Na alternância seguinte, *a* é desligado com alternância negativa em sua base, porém, Q_2 conduz porque sua base é positiva.

As correntes *c* e *d* que fluem no primário do transformador de saída T_2 fluem em sentidos opostos. Elas se combinam para formar o ciclo completo *e*.

Você poderá notar que a onda de saída *e* é distorcida perto dos pontos de amplitude zero. Isto é chamado de *distorção de transição*. Esta distorção é causada pelo fato de que os transistores bipolares de silício não conduzem quando a tensão de entrada em sua base é menor que 0,7 volt. (Os transistores de germânio não irão conduzir quando a tensão de entrada em sua base for menor que 0,2 volt.)

A distorção de transição pode ser evitada aplicando-se uma pequena polarização direta nas bases dos transistores.

A Figura 13-17b mostra um amplificador de potência de *simetria complementar*. Este amplificador usa

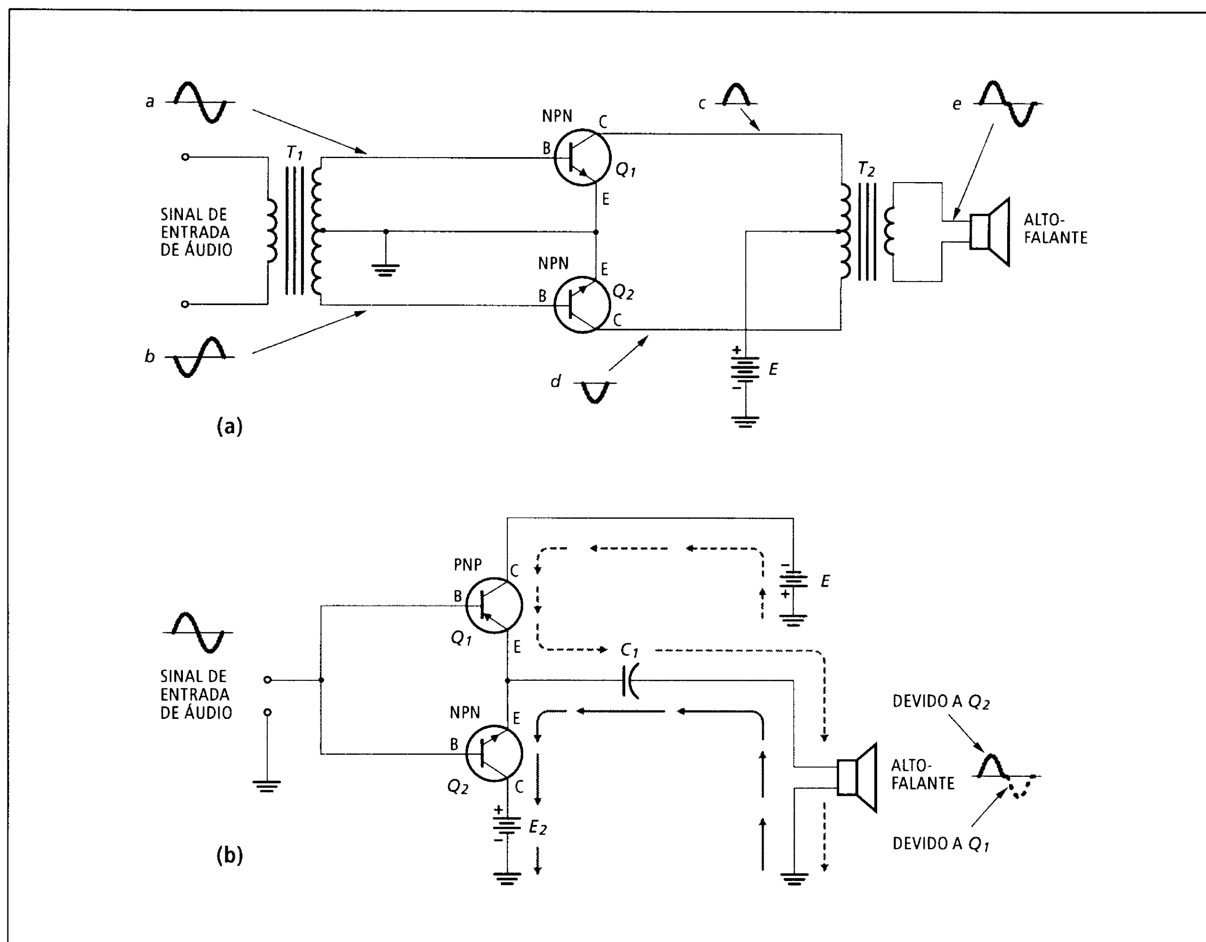


Fig. 13-17: Dois importantes circuitos para amplificadores de potência: (**a**) tipo *push-pull;* (**b**) simetria complementar.

um transistor PNP e um transistor NPN. Uma vantagem óbvia deste circuito é que não requer um dispositivo para dividir a fase do sinal de entrada. (O transformador T_1 realiza esta função no circuito *push-pull.*) O mesmo sinal é aplicado a ambas as bases.

Na alternância positiva do sinal de entrada, o transistor PNP Q_1 é desligado e Q_2 conduz. O caminho de condução está indicado com setas sólidas. A alternância positiva do sinal passa através de C_1 e ativa a bobina do alto-falante.

Na alternância negativa do sinal de entrada, o transistor NPN Q_2 é desligado e Q_1 conduz. O caminho de condução está indicado com setas pontilhadas. Agora a alternância negativa do sinal de áudio passa através de C_1 e ativa a bobina de voz do alto-falante.

O resultado é que uma corrente alternada de freqüência de áudio flui através da bobina do alto-falante. O formato da onda e corrente de saída estão indicados como linha sólida para a alternância em que Q_2 conduz, e como linha pontilhada para a alternância em que Q_1 conduz. Como no caso dos amplificadores *push-pull,* a distorção de transição pode ocorrer quando os transistores bipolares operam sem polarização direta, como neste caso.

Por que foi desenvolvido o Som Quadrifônico?

A Figura 13-18 mostra como mudaram os sistemas de áudio. Nos sistemas mais antigos todo o som provinha de uma localização. Isto é chamado de *som monaural* e está ilustrado na Figura 13-18a.

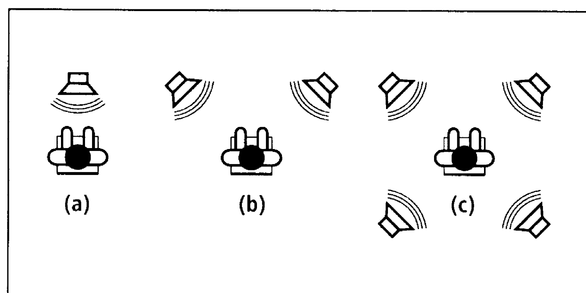


Fig. 13-18: Posição de um ouvinte para diversos tipos de sistemas de som: (**a**) monaural; (**b**) estereofônico; (**c**) quadrifônico.

Fig. 13-19: Sistemas quadrifônicos;(**a**) imitação; (**b**) matriz; (**c**) discreto.

(a)
REPRODUÇÃO EM ESTÉREO
INFORMAÇÃO GRAVADA
RETARDO
RETARDO

MICROFONES
MATRIZ (CODIFICAÇÃO)
GRAVAÇÃO EM ESTÉREO
REPRODUÇÃO EM ESTÉREO
MATRIZ (DECODIFICAÇÃO)
(b)

MICROFONES
GRAVAÇÃO QUADRIFÔNICA
REPRODUÇÃO QUADRIFÔNICA
(c)

Os peritos em áudio queixaram-se do som monaural. Acharam que o som vindo de uma única localização não era natural. Diziam que era como ouvir uma orquestra sinfônica num túnel.

Na vida real, os sons não provêm todos de uma única direção. Num auditório, por exemplo, você ouve sons que são refletidos pelas paredes, assim como os sons originais. Os sons refletidos constituem parte importante do som total que você ouve.

A etapa seguinte no sistema de áudio foi o desenvolvimento do som *estereofônico.* Isto está indicado na Figura 13-18b. A fonte do som é dividida em duas partes, direita e esquerda. De acordo com os peritos de áudio, isto era muito mais realista, porém, também apresentava

problemas. Um dos problemas é o chamado *efeito de pingue-pongue.* Quando você ouve o som de um jogo de pingue-pongue, ele vem da esquerda ou da direita, porém, nunca ocorre no meio. O efeito de pingue-pongue ou *efeito de vazio no meio* pode também ocorrer em estéreo. Isto acontece especialmente quando os alto-falantes estão muito afastados um do outro. Este efeito pode ser parcialmente eliminado colocando um terceiro alto-falante entre os dois, e isto é normalmente feito. Um outro problema do estéreo é que ele não produz *som ambiental.* Isto é, o som que é refletido pelas paredes, produzindo um som tridimensional que o perito de áudio gosta de chamar de ambiente.

Para reproduzir o ambiente, foi desenvolvido o som quadrifônico. Conforme indicado na Figura 13-18c, o sistema inclui basicamente quatro alto-falantes.

Dois alto-falantes reproduzem os sons vindos da frente, e os outros dois alto-falantes reproduzem os sons refletidos pelas paredes na sala de concertos.

Quais são os tipos de Som Quadrifônico?

Existem três maneiras de obter o som quadrifônico. Elas estão ilustradas na Figura 13-19.

O *sistema de imitação* da Figura 13-19a é também chamado de *sistema simulado.* Opera com qualquer gravação em estéreo. As duas pistas de informação na reprodução em estéreo provêm de fita, disco ou estéreo-multiplex FM. Os alto-falantes da frente (esquerda e direita) reproduzem um som estéreo. Existe um certo retardo entre os alto-falantes da frente e os alto-falantes traseiros (esquerda e direita). O retardo faz com que o som dos alto-falantes pareça eco das paredes de um auditório. Este retardo deve ser muito curto, porque o som se desloca a uma velocidade de cerca de 330 metros por segundo. Portanto, o som que é refletido pelas paredes de um auditório não chega muito mais tarde que o som do estágio.

O som quadrifônico de imitação é o menos dispendioso dos métodos usados. Possui a vantagem adicional de poder ser usado com o equipamento estéreo existente. Porém, alguns peritos de áudio afirmam que não é tão realístico como outros métodos.

O *sistema de matriz* da Figura 13-19b é também conhecido como som *quadrifônico codificado.* Neste sistema, os sinais elétricos de quatro microfones são combinados eletricamente em dois sinais. Estes dois sinais são gravados em duas pistas. O equipamento de reprodução capta os sinais de duas pistas e os convertem em quatro sinais para os alto-falantes. A matriz de gravação é também chamada de *codificador,* e a matriz de reprodução, de *decodificador.*

O circuito elétrico para a matriz pode ser bastante complicado se for necessário obter-se um grande realismo. Infelizmente, várias companhias diferentes projetaram seus próprios circuitos de matriz, e um sistema de gravação não poderá ser reproduzido em outro. Isto leva a confusão e a uma falta de progresso em som quadrifônico.

O terceiro sistema é chamado de *discreto* e está ilustrado na Figura 13-19c. As saídas de quatro microfones são gravadas em quatro pistas separadas. No equipamento de reprodução, cada pista é tratada como gravação separada para um sistema de quatro alto-falantes.

Existe apenas um tipo de sistema de gravação que pode produzir som quadrifônico discreto, e ele é o sistema de gravação em fita. O assim chamado sistema de gravação discreto não grava quatro canais individuais de áudio conforme indicado na Figura 13-19c. Em vez disso, converte duas das entradas de microfone para sinais de freqüência mais alta. No sistema de reprodução, os sinais de freqüência mais alta são convertidos de volta para o áudio.

Quais são as diferenças entre a gravação em Fita e a gravação em Disco?

Existem algumas idéias básicas relacionadas com a gravação em fita que você deve entender.

Alguns princípios básicos da Gravação em Fitas?

Quanto mais rápido for o deslocamento da fita, mais altas são as freqüências de áudio que podem ser reproduzidas. Em outras palavras, fitas mais rápidas proporcionam maior fidelidade do que fitas mais lentas. Porém, maiores velocidades da fita reduzem o tempo de reprodução.

A largura da ranhura na cabeça pode afetar a fidelidade. Em regra geral, quanto mais estreita for a ranhura, maior é a freqüência que pode ser gravada e reproduzida. Esta é uma das razões pelas quais a qualidade da reprodução é reduzida por uma cabeça gasta. Conforme a cabeça vai gastando, o tamanho da ranhura aumenta e a resposta a alta freqüência fica comprometida.

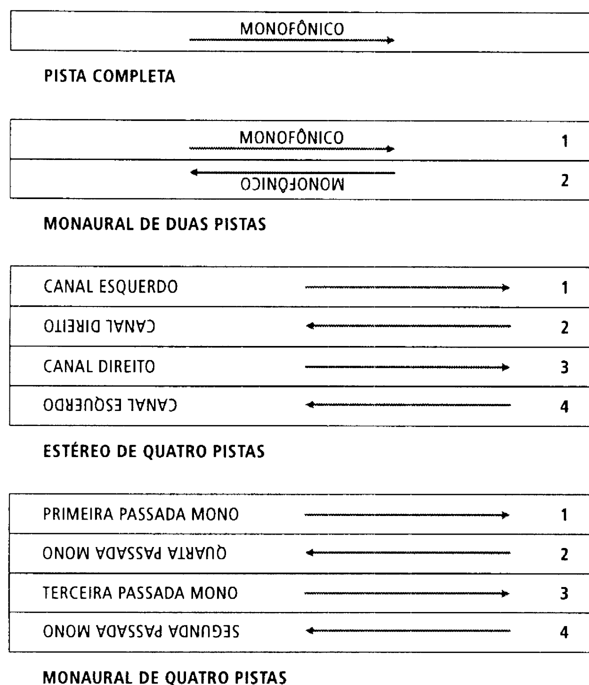
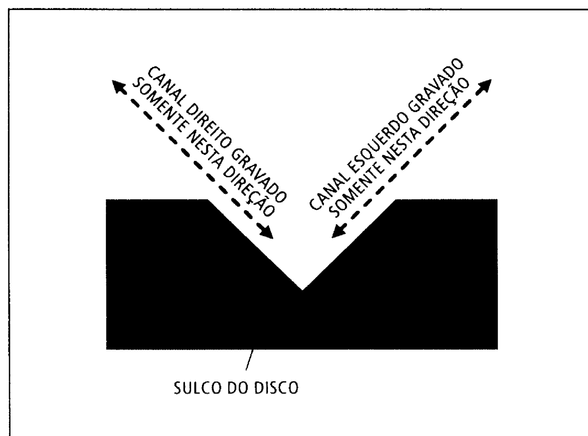


Fig. 13-20: Vários formatos populares de gravação.

Os princípios básicos da gravação em fita são os mesmos para gravadores de fita profissionais, cassetes e cartuchos. A diferença mais importante entre estes sistemas é o método de armazenamento da fita.

A Figura 13-20 mostra vários formatos populares para gravação em fita.

Fig. 13-21: Como a agulha desloca-se para produzir som estereofônico. A agulha desloca-se nas direções das setas tracejadas para produzir som estereofônico.



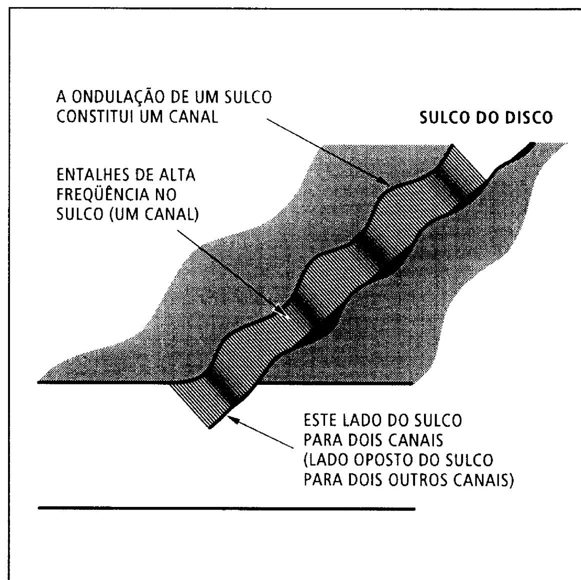


Fig. 13-22: Um sulco de disco quadrifônico.

Alguns princípios básicos da Gravação em Disco

Para gravação monaural em discos, o sulco desloca a agulha em vaivém. A Figura 13-9 (pág. 280) mostra o princípio de operação.

Para gravação em som estereofônico, a informação para o alto-falante da esquerda é gravada num lado do sulco e a informação para o outro alto-falante é gravada no outro lado do sulco.

Dois alto-falantes são usados – um para cada *canal de som*. (Para o estéreo existem dois canais, esquerdo e direito.) A Figura 13-21 mostra como a agulha do toca-discos desloca-se para reproduzir os dois canais.

Para gravação em quatro canais, existem, além disto, minúsculas saliências em cada lado do sulco. Elas representam os sinais de alta freqüência que irão ser usados para os dois alto-falantes traseiros. A informação para os alto-falantes traseiros é alterada para altas freqüências para gravação no disco. Para reprodução, os sinais de alta freqüência são tirados do disco e convertidas novamente em freqüências de áudio para os alto-falantes traseiros. A Figura 13-22 mostra um sulco de disco quadrifônico (apenas um lado é indicado para simplificar o desenho).

RESUMO

1. O sintonizador permite ouvir estações de AM e FM por meio do sistema de áudio.
2. O sistema padronizado de transmissão em freqüência modulada (FM) possui as vantagens de uma transmissão numa gama maior de freqüências, grande redução de ruído no áudio e capacidade para transmitir som estereofônico ou quadrifônico.
3. Os amplificadores de tensão em sistemas de áudio geralmente têm realimentação negativa para aumentar sua largura de faixa.
4. Os amplificadores *push-pull* e os amplificadores de simetria complementar são dois tipos populares de amplificadores de potência usados em sistemas de áudio. Quando transistores bipolares são usados nestes circuitos, eles devem ter um pouco de polarização direta para evitar a distorção de transição.
5. O som monaural é o som que vem de uma só direção. Os peritos em áudio acham que o som monaural não é realístico. Estamos acostumados a ouvir sons que vêm de várias direções, incluindo as reflexões das paredes.
6. O som estereofônico é mais realístico que o som monaural. Porém, pode produzir o efeito de "pingue-pongue" se os alto-falantes não forem corretamente posicionados.
7. O som quadrifônico proporciona a sensação de ambiente. Isto significa que os ouvintes captam o mesmo tipo de som que iriam ouvir num auditório. Outro nome para isto é *som ambiental*.
8. Existem três tipos de som quadrifônico: imitação, matriz e discreto.
9. O som quadrifônico de imitação pode ser usado com qualquer sistema estéreo existente. Ele simplesmente atrasa os sinais sonoros para os alto-falantes traseiros para imitar as reflexões nas paredes.
10. O som quadrifônico de matriz é gravado com sinais de quatro microfones. Porém, estes são convertidos em dois sinais. Durante a reprodução, os dois sinais são novamente convertidos em quatro sinais para quatro alto-falantes.
11. O som quadrifônico discreto grava os quatro sinais individuais de quatro microfones. Durante a reprodução, os quatro sinais individuais são usados para quatro alto-falantes.

PERGUNTAS DE REVISÃO PROGRAMADA

(As instruções para o uso desta seção de revisão programada são fornecidas no Capítulo 1 / pág. 8.)

Iremos rever os conceitos importantes deste capítulo. Se você entendeu o material, poderá progredir facilmente nesta seção. Não pule este material porque nele são apresentadas algumas informações teóricas adicionais.

1 **Qual dos seguintes componentes opera sobre o princípio da lei de Faraday?**

A **Um microfone dinâmico** (passe para o item 17).

B **Um microfone de cerâmica** (passe para o item 9).

2 *Se sua resposta para a pergunta do item 18 é B, está errada. A caixa com reflexão de graves possui uma abertura que permite a estes sons, atrás do alto-falante, reforçar os sons graves vindos da parte frontal do alto-falante. Isto aumenta o volume dos graves.* Passe para o item 12.

3 *A resposta correta para a pergunta no item 14 é B. A saída destes receptores não responde a mudanças na amplitude do sinal. São apenas sensíveis a sinais com mudança de freqüência. Uma vez que os sinais que produzem estática são sinais de AM, os receptores de FM não reproduzem estes sinais.* Aqui está a próxima pergunta:

Para um determinado gravador de fita, uma velocidade maior na fita em gravação e reprodução irá:

A **Proporcionar melhor fidelidade** (passe para o item 10).

B **Resultar em baixa fidelidade** (passe para o item 16).

4 *Se sua resposta para a pergunta no item 10 é A, está errada. Se o carretel girar com velocidade constante, a velocidade da fita irá gradativamente mudar. Isto porque a velocidade da fita é diretamente relacionada com o raio da fita no carretel.*

Em outras palavras, conforme a fita vai se acumulando no carretel, sua velocidade muda. Você não pode obter uma velocidade constante da fita usando uma velocidade constante no carretel. Passe para o item 15.

5 *Se sua resposta para a pergunta no item 7 é A, está errada. Os amplificadores de classe A nunca param de conduzir. Em outras palavras, nos amplificadores de classe A com válvula a vácuo, existe sempre uma corrente de placa; com transistor bipolar existe sempre uma corrente de coletor e com um transistor FET existe sempre uma corrente de dreno. Quando um sinal é aplicado a um amplificador de classe A, o amplificador é operado na faixa linear. Isto evita o problema de distorção de transição.* Passe para o item 11.

6 *Se sua resposta para a pergunta no item 11 é A, está errada. O som monaural é o som que provém de uma só direção. O efeito de "pingue-pongue" ocorre quando a som vem de duas direções. É como se o ouvinte estivesse ouvindo o som de uma partida de pingue-pongue, vindo de um lado ou de outro da mesa, mas nunca do meio dela.* Passe para o item 18.

7 *A resposta correta para a pergunta no item l7 é A. Os materiais magnéticos são não-lineares. Isto significa que o teor de magnetismo na fita não é diretamente proporcional à intensidade da força magnetizante. Em outras palavras, se você dobrar a força magnetizante não irá necessariamente obter o dobro do teor de magnetismo permanente na fita.*

A maior porção não-linear da curva de magnetização é o ponto no qual existe uma força magnetizante muito baixa e também o ponto no qual existe uma força magnetizante muito elevada.

O oscilador de polarização fornece um sinal alternado, e o áudio a ser gravado é adicionado a este sinal alternado. Isto faz com que o áudio produza uma força magnetizante na parte linear da curva de magnetização. Aqui está a próxima pergunta:

Há mais probabilidade de a distorção de transição ocorrer em:

- [A] **Amplificadores de tensão de classe A** (passe para o item 5).
- [B] **Amplificadores de tensão de classe B** (passe para o item 11).

8 *Se sua resposta para a pergunta no item 12 é A, está errada. A palavra ambiente é usada com o significado de som ambiental.*
Passe para o item 14.

9 *Se sua resposta para a pergunta no item 1 é B, está errada. Um microfone de cerâmica opera sob o princípio do efeito piezoelétrico. Isto significa que certos materiais geram uma tensão sobre sua superfície, quando forem defletidos, torcidos ou deformados de outra forma.* Passe para o item 17.

10 *A resposta correta para a pergunta no item 3 é A. Pelo deslocamento rápido da fita sobre a ranhura, os sinais de alta freqüência de áudio podem ser gravados com maior precisão.*

Se a fita for deslocada rapidamente sobre a ranhura, o comprimento da fita que grava uma alta freqüência é maior. Desta forma, o sinal magnético sobre a fita é, de fato, "esticado" e pode ser reproduzido com maior fidelidade, conforme a fita passa sobre a ranhura. Aqui está a próxima pergunta:

Para obter uma velocidade constante da fita sobre a cabeça de gravação:

- [A] **Os carretéis devem girar a uma velocidade constante** (passe para o item 4).
- [B] **Usa-se um tracionador** (passe para o item 15).

11 *A resposta correta para a pergunta no item 7 é B. A distorção de transição é um problema em amplificadores com transistores bipolares e que não usam qualquer polarização direta; porém, pode ocorrer com válvulas a vácuo e transistores FET. A distorção ocorre em circuitos* ***push-pull*** *de classe B e em circuitos complementares de classe B.*

O problema ocorre quando o sinal está num ponto tal que um amplificador pára de conduzir logo antes de o segundo amplificador iniciar a condução. Quando a tensão do sinal cair abaixo de 0,7 volt (para transistores de silício) ou abaixo de 0,2 volt (para transistores de germânio) a corrente de coletor pára de fluir durante um curto período de tempo. Isto é o que produz a distorção de transição. Aqui está a próxima pergunta:

O efeito de "pingue-pongue" é um problema possível:

A **Em som monaural** (passe para o item 6).
B **Em som estéreo** (passe para o item 18).

12 *A resposta correta para a pergunta no item 18 é A. A caixa acústica com reflexos de baixas permite ao som refletido da parte traseira do alto-falante reforçar o som na frente do alto-falante nas baixas freqüências (ou graves). Isto é uma característica importante da caixa acústica com reflexos de baixas.* Aqui está a próxima pergunta:

Qual dos seguintes sons proporciona melhor som ambiental?

A **Som estéreo** (passe para o item 8).
B **Som quadrifônico** (passe para o item 14).

13 *Se sua resposta para a pergunta no item 17 é B, está errada. Se um componente amplificador possui polarização contínua direta, pode produzir uma distorção importante. Em outras palavras, a polarização na base de um transistor, a polarização da grade de uma válvula a vácuo ou a polarização de bloqueio num transistor FET pode ser diretamente responsável pela distorção num amplificador, quando o valor da polarização não for correto. Lembre-se, porém, que estas são polarizações contínuas no componente amplificador. Um oscilador de polarização num gravador de fita produz polarização alternada.* Passe para o item 7.

14 *A resposta correta para a pergunta no item 12 é B. A finalidade da gravação de som quadrifônico é de proporcionar realismo ao ouvinte. Permite ao ouvinte ouvir sons vindos de frente e sons vindos de trás. Os sons vindos de trás, imitam os sons que são refletidos em um auditório. O som ambiental é melhor conseguido com o sistema quadrifônico.* Aqui está a próxima pergunta:

Qual das seguintes transmissões proporciona uma recepção "isenta de estática"?

A **Transmissão em AM** (passe para o item 19).
B **Transmissão em FM** (passe para o item 3).

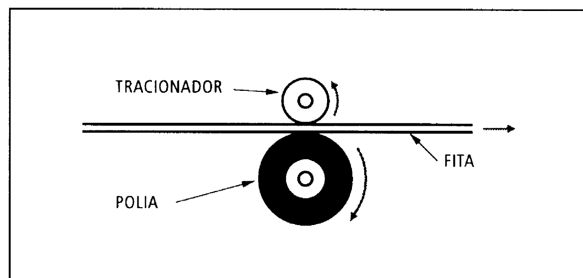


Fig. 13-23: Acionamento por tracionador.

15 *A resposta correta para a pergunta no item 10 é B. Um tracionador é um pequeno cilindro giratório. A fita é presa entre o tracionador e uma polia. Detalhes de um sistema tracionador são indicados na Figura 13-23.* Aqui está a próxima pergunta:

Uma maneira de aumentar a largura da faixa de um amplificador consiste em (aumentar ou diminuir) seu ganho.

....

Passe para o item 20.

16 *Se sua resposta para a pergunta no item 3 é B, está errada. Se você deslocar a fita lentamente sobre a ranhura, a quantidade do sinal de alta freqüência que pode ser gravado é limitada.* (Passe para o item 10).

17 *A resposta correta para a pergunta no item 1 é A. Um microfone dinâmico consiste de uma bobina num campo magnético. O som faz com que a bobina se desloque no campo magnético e o movimento é diretamente relacionado com o som. A tensão gerada na bobina é a tensão de áudio.* Aqui está a próxima pergunta:

Um oscilador de polarização é usado em gravadores de fita para eliminar a distorção causada por:

A **Curvas de magnetização não-lineares** (passe para o item 7).
B **Resposta deficiente do amplificador** (passe para o item 13).

18 *A resposta correta para a pergunta no item 11 é B. O efeito de "pingue-pongue" ocorre em estéreo quando os alto-falantes são muito afastados um do outro. Isto faz com que o som venha de um ponto à esquerda e de um ponto à direita sem qualquer som vindo do meio. Seu nome se deve ao fato de que você obteria o mesmo efeito se ouvisse uma partida de pingue-pongue de um lugar perto da rede.* Aqui está a próxima pergunta:

Uma caixa acústica com reflexos de baixas é usada para:

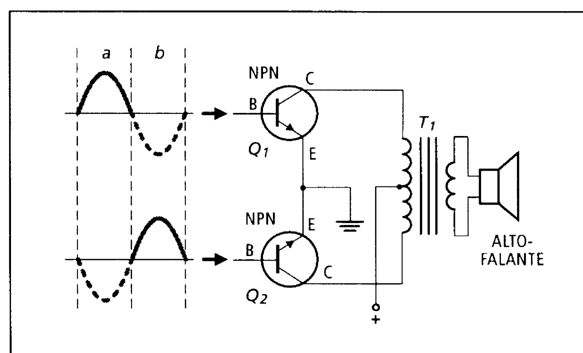
A **Aumentar o volume das baixas freqüências** (passe para o item 12).
B **Reduzir o volume das baixas freqüências** (passe para o item 2).

19 *Se sua resposta para a pergunta no item 14 é A, está errada. AM significa amplitude modulada. Os sinais que produzem ruídos e estática são geralmente de amplitude modulada. Qualquer receptor que reproduza sinais de AM está sujeito à interferência de ruído.* Passe para o item 3.

20 *A resposta para a pergunta no item 15 é "reduzir". Existe sempre algum compromisso entre ganho do amplificador e largura de faixa. Quase tudo o que você fizer para reduzir o ganho irá automaticamente aumentar a largura da faixa. A realimentação negativa – também chamada de realimentação degenerativa – é usada para reduzir o ganho e aumentar a largura de faixa dos amplificadores de áudio. Como resultado disto, o amplificador pode amplificar uma gama maior de freqüência de áudio.*

Você completou agora as perguntas de revisão programada. O próximo passo consiste em pôr algumas destas idéias em prática em experiências de laboratório. Passe para a seção de experiências deste capítulo.

Fig. 13-24: Circuito *push-pull*.



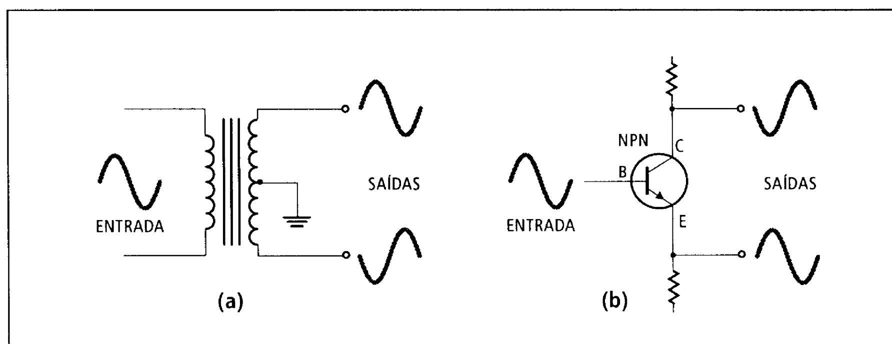


Fig. 13-25: Inversão de fase para *push-pull:* (**a**) um transformador; (**b**) um amplificador.

EXPERIÊNCIAS

(As experiências descritas nesta seção podem ser realizadas na placa de circuitos descrita no Anexo C ou numa montagem de laboratório similar.)

■ FINALIDADE

Fazer a demonstração do circuito complementar do amplificador de potência usado em sistemas de áudio.

■ TEORIA

Em muitos sistemas amplificadores de potência de áudio, usa-se mais de um componente amplificador para conseguir um sinal de saída. Isto é feito pela mesma razão pela qual há mais de um motor em muitos aviões. Dois motores fornecem mais potência que um só e dois dispositivos amplificadores permitem maior saída de potência de áudio que um só.

Existem muitas maneiras diferentes de ligar os componentes amplificadores para obter maior potência de saída. Uma maneira muito popular é o circuito *push-pull* da Figura 13-24. Para simplificar esta ilustração, a polarização da base não está indicada. Para este circuito operar, é preciso modificar o sinal de entrada. A modificação necessária é a *divisão de fase.* Isto envolve a divisão em dois sinais idênticos defasados um do outro em 180°. Os dois sinais são usados para entradas de Q_1 e Q_2, na Figura 13-24.

Os sinais, nesta aplicação, são ondas senoidais, porém, qualquer formato de onda de áudio poderia ser usado. Durante o período *a*, a base de Q_1 torna-se positiva, e este transistor conduz através da metade do transformador de saída T_1. Durante este mesmo período de tempo, a base de Q_2 é negativa e este transistor não pode conduzir.

Na alternância seguinte (período *b*), a base de Q_1 é negativa e, portanto, este transistor é desligado. Ao mesmo tempo, a base do transistor Q_2 é positiva de modo que o transistor pode conduzir.

O resultado global é que Q_1 conduz durante uma alternância e Q_2 conduz durante a outra alternância. Isto permite maior potência de saída com menor distorção que aquela que pode ser obtida com um único transistor num circuito amplificador de potência.

Os sinais *push-pull* defasados podem ser obtidos de diversas maneiras diferentes. Dois métodos são indicados na Figura 13-25. Na Figura 13-25a usa-se um transformador cujo secundário tem derivação central. Este é semelhante aos transformadores de potência usados em retificadores de onda completa.

Quando a derivação central é aterrada, os formatos das ondas nas extremidades do transformador estão defasados em 180°, conforme necessário para operar o circuito *push-pull.*

Um outro método para a obtenção dos sinais defasados necessários está indicado na Figura 13-25b. Como você sabe, a tensão no coletor de um amplificador está defasada em 180° em relação à tensão no emissor. Aqui tira-se um sinal do coletor e um sinal do emissor proporcionando os dois sinais defasados em 180° necessários.

Apesar de a ilustração na Figura 13-24 indicar transistores bipolares, você pode usar válvulas a vácuo ou transistores FET. Uma desvantagem importante da operação de *push-pull* está no fato de que é necessário um inversor de fase para a operação do amplificador. Porém, os benefícios da operação de *push-pull* compensam freqüentemente a desvantagem acima citada.

Um outro circuito amplificador de potência muito popular usa *transistores bipolares complementares.* A palavra transistores complementares significa simplesmente que um é do tipo NPN e o outro é do tipo PNP. O circuito básico está indicado na Figura 13-26. Mais uma vez, o circuito de polarização não está indicado. O sinal de entrada é uma corrente alternada fornecida à base de ambos os transistores.

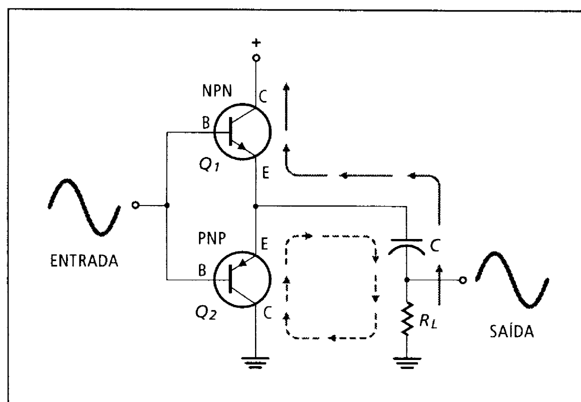


Fig. 13-26: Amplificador complementar.

Durante a alternância positiva, a base do transistor Q_1 é tornada positiva. Ele é um transistor NPN, de modo que conduz através de R_L. O caminho de condução está indicado pelas setas cheias. Neste momento, a base de Q_2 também é positiva. Porém, é um transistor PNP, e uma tensão positiva na sua base desliga-o.

Durante a alternância seguinte, o sinal de entrada é negativo. A tensão negativa sobre a base do transistor

NPN Q_1 desliga o mesmo, porém, faz o transistor Q_2 conduzir através de R_L. O fluxo de elétrons num transistor PNP é de coletor para emissor, conforme indicado pelas linhas pontilhadas.

Observe que a corrente através de R_L está num sentido durante uma alternância e no sentido oposto durante a alternância seguinte. Isto significa que existe uma tensão alternada sobre R_L. Esta é uma versão amplificada da tensão de entrada. Na prática, uma bobina de um alto-falante seria usada no lugar de R_L.

Nesta experiência, você vai ligar um amplificador complementar e irá mostrar que, quando há uma tensão alternada de entrada, a tensão de saída é também alternada e possui maior amplitude.

■ MONTAGEM DO TESTE

A Figura 13-27 mostra o amplificador complementar que será usado nesta experiência.

■ PROCEDIMENTO

☐ *Etapa 1:* Efetuar as ligações do circuito, conforme indicado na Figura 13-27. Não há diagrama de ligações fornecido com este circuito. É muito importante você aprender a fazer as ligações dos circuitos diretamente a partir do diagrama esquemático. (Observe o diagrama de ligações da Figura 13-29b. É semelhante, porém não é o mesmo. R_A e R_B foram acrescentados aqui.)

☐ *Etapa 2:* Medir a tensão contínua sobre R_L. Deve ser 0 volt quando não há sinal algum de entrada no ponto *a*.

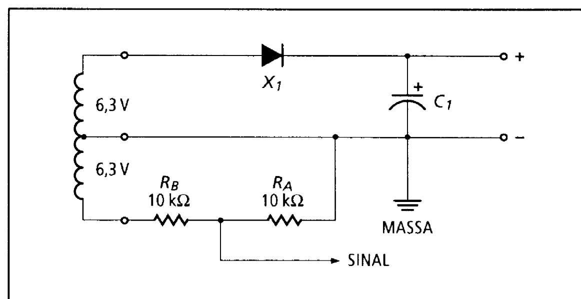
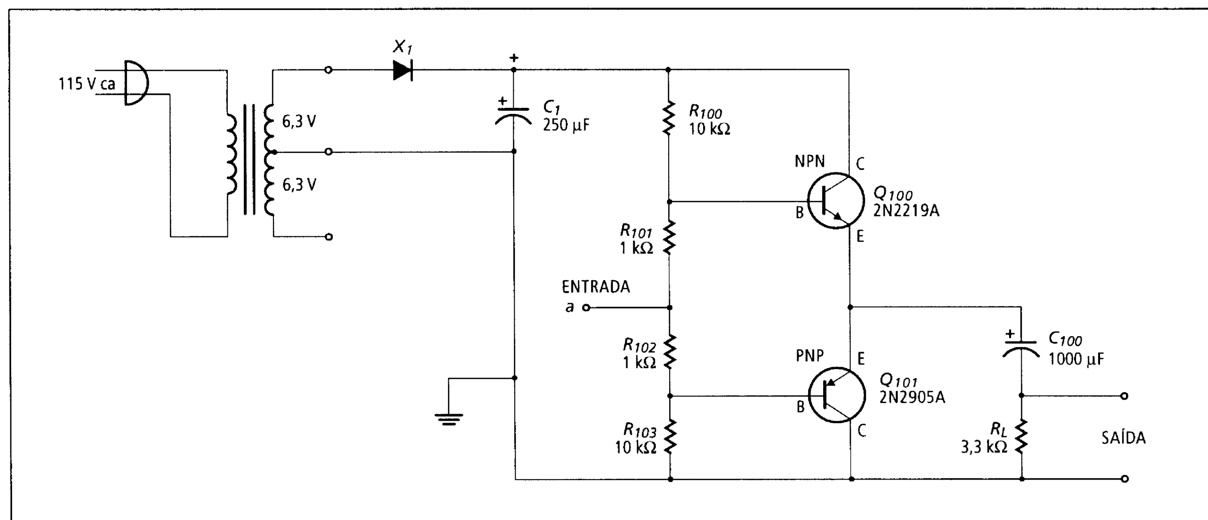


Fig. 13-28: Circuito para o sinal de teste.

Esta é uma vantagem importante do circuito complementar. *Quando não há sinal algum de entrada, não há fluxo algum de corrente através da carga.* Em qualquer circuito, a corrente que flui através da carga na ausência de sinal de entrada é chamada de *corrente em vazio.* (A corrente de polarização da base não é parte da corrente em vazio que está sendo discutida aqui porque não flui através da carga.) A energia dissipada pela corrente em vazio, fluindo através de uma resistência de carga, é energia desperdiçada. Com um circuito complementar não há energia desperdiçada por causa da corrente em vazio.

☐ *Etapa 3:* Você irá usar a tensão alternada de 60 hertz sobre a metade do transformador de potência como sinal. A Figura 13-28 mostra como isto é realizado. Os resistores de 10 kilohms (R_A e R_B) servem como

Fig. 13-27: Amplificador de potência complementar.



divisores de tensão para reduzir a tensão do transformador para cerca de 3 volts.

Efetuar as ligações do circuito da Figura 13-28 e adicionar este circuito ao circuito do amplificador de potência complementar. O circuito completo está indicado na Figura 13-29. A Figura 13-29a mostra o diagrama esquemático e a Figura 13-29b mostra o diagrama de ligações. (Exceto para as ligações de R_A e R_B, isto é também o diagrama de ligações para o circuito da Figura 13-27.).

☐ *Etapa 4:* Se houver uma tensão alternada senoidal sobre R_L, seu voltímetro de corrente contínua não poderá medi-la. A razão é que o ponteiro de um voltímetro de corrente contínua desloca-se para um valor igual à tensão média sobre seus terminais. O valor médio de uma onda senoidal alternada sobre um ciclo completo é 0 volt. Usando um voltímetro para corrente alternada, medir a tensão sobre R_L e anotar o valor.

Tensão alternada sobre R_L

= .... **volts**

(A medição deve indicar alguns volts. Esta tensão deve ser maior que a tensão alternada de entrada para o amplificador.)

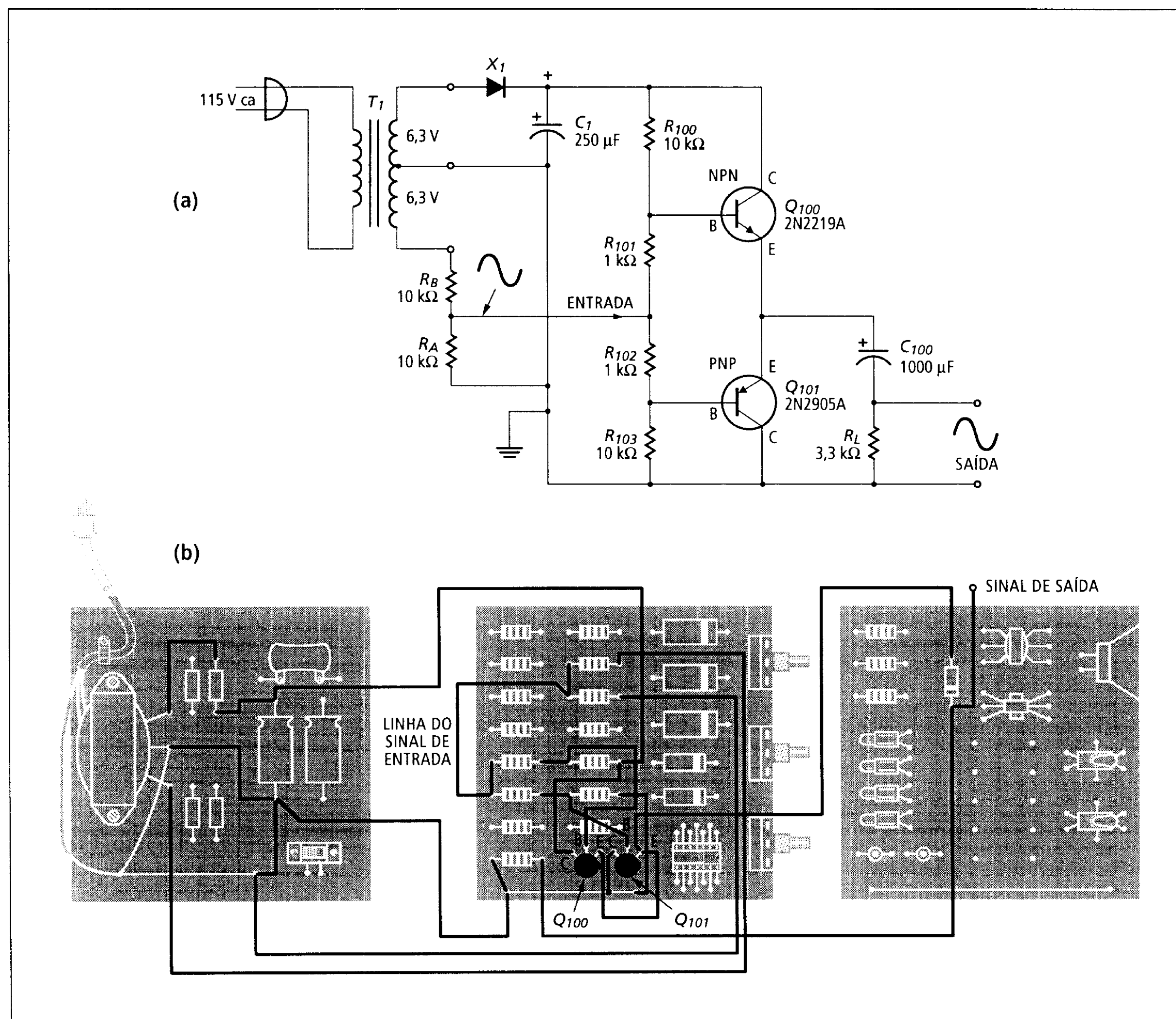


Fig. 13-29: Circuito complementar com o sinal no terminal de entrada: (**a**) diagrama esquemático; (**b**) diagrama de ligações.

Você demonstrou que um amplificador complementar pode produzir uma tensão alternada amplificada sobre a carga e que um inversor de fase não é necessário. Você também demonstrou que não há corrente em vazio no circuito complementar.

A maioria dos amplificadores de potência possui um baixo ganho de tensão. O que você quer num amplificador de potência é uma grande corrente de saída não uma grande tensão de saída.

■ CONCLUSÃO

Os amplificadores complementares utilizam dois transistores num circuito do tipo *push-pull* para grande ganho de potência. Não requerem circuitos adicionais para divisão de fase que são necessários para outros amplificadores do tipo *push-pull*. Não possuem corrente em vazio.

Áudio Digital

Os modernos sistemas de áudio empregam gravação digital, de modo a tornar mais fiel a reprodução da música. A gravação digital permitiu o emprego de tecnologia LASER nos sistemas eletrônicos de áudio.

O meio de gravação mais empregado atualmente é o disco de 12 cm, chamado "Compact Disc" ou CD.

Padrão Internacional de CD

O CD foi criado pela Philips da Holanda e pela Sony do Japão. As duas companhias trabalharam muito tempo, antes de estabelecerem um padrão que fosse acessível ao consumidor médio.

Entre outras especificações e características, o padrão estabelecido para gravação e reprodução de áudio digital em CD determina:

- Tempo máximo de gravação igual a 74 minutos, para uma face do disco.
- Velocidade de rotação: de 500 a 200 rpm.
- Área de gravação: de 46 mm a 117 mm.
- Comprimento e largura dos pontos (pits) de gravação, respectivamente: 3,05 micrômetros (μm) e 0,5 micrômetros (0,5 μm).
- Diâmetro do feixe laser de sinal: aproximadamente 0,8 μm.
- Fonte óptica de sinal laser: semicondutor.
- Número de canais de som: 2 e 4.
- Freqüência de amostragem (Sampling Frequency): 44,1 Khz.
- Razão bit/seg por canal: 4,3218 megabits por segundo.
- Código para correção de erro: CIRC, com 25% de redundância.
- Resposta de freqüência: 5 a 20 Khz, ± 0 dB.
- Resposta dinâmica: 96 dB.
- Distorção harmônica: menor que 0,003% em 1 Khz.
- Separação de canais: 96 dB, em 1 Khz.

Codificação de Áudio

O sinal de áudio produzido por um instrumento musical ou pela voz humana, tem geralmente, uma forma complexa, conforme é visto na Figura 13-30a.

A forma-de-onda irregular dessa onda é conseqüência da adição de sobretons ou harmônicas (múltiplos da freqüência fundamental) ao tom principal puro do sinal de áudio.

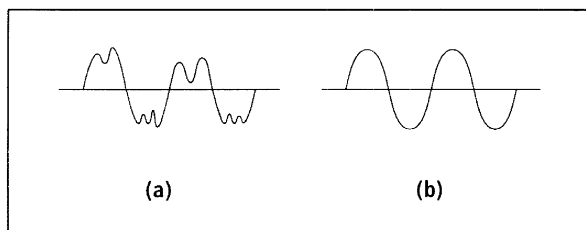


Fig. 13.30: Formas-de-onda de áudio: (**a**) composição da fundamental e harmônicos; (**b**) fundamental pura.

A Figura 13-30b mostra a forma-de-onda de um sinal de áudio de tom puro, ou seja, resultante apenas da freqüência fundamental.

Tomando-se como referência um sinal de áudio como aquele mostrado na Figura 13-30b, podemos analisar com facilidade o processo de codificação digital.

Codificar significa transformar o sinal de áudio, naturalmente analógico, em um sinal digital. O sinal digital é representado por um grupo de números binários que representam um dado qualquer – em nosso caso, um sinal analógico de áudio. A Figura 13-31a mostra a primeira parte do processo de codificação – chamado amostragem (sampling). Vemos aqui, que o sinal de áudio é recortado em partes de duração igual, mas amplitudes diferentes. As várias partes com amplitudes diferentes são resultado da variação natural na amplitude do sinal original de áudio. O sinal de áudio que serve de exemplo é uma onda senoidal com 8 volts de pico.

Para simplificar, a amostragem feita aqui compreende apenas 8 partes para o semiciclo positivo e 8 partes para o semiciclo negativo.

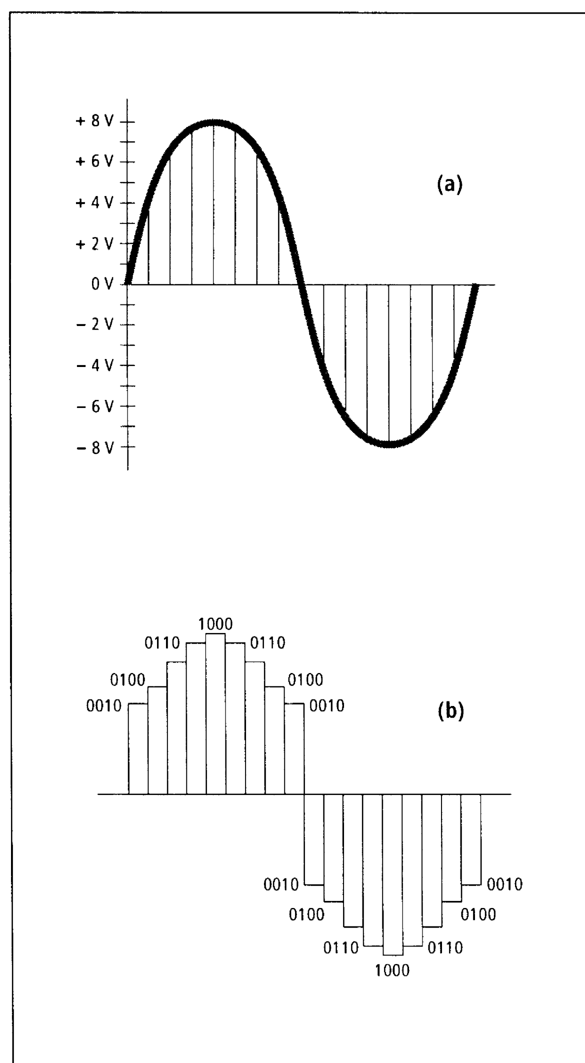
Cada parte tem uma amplitude correspondente à uma respectiva tensão da onda senoidal. A Figura 13-31b mostra a segunda parte do processo que corresponde à quantização de cada valor de tensão. Ou seja, cada parte tem seu valor de amplitude, em volts, convertido para um número binário correspondente.

Daqui para a frente, cada número binário correspondente a cada "amostra" do sinal analógico de áudio será gravado no disco.

A Figura 13-32 mostra em um diagrama de blocos, o circuito completo da codificação e gravação digital de áudio. Ambos os canais, esquerdo e direito, jogam o sinal de áudio num circuito de filtro passa-baixa, para limitar a amplitude de freqüência do sinal.

Um circuito de *Sample & Hold* é adequado para que o sinal de áudio seja "convertido" de analógico para digital, pelo circuito conversor A/D. Após esse processo, ambos sinais, esquerdo, L, e direito, R, vão ser multiplexados num só sinal já digital, pelo circuito Multiplexador.

Fig. 13-31: Primeira e segunda partes do processo de codificação digital de um sinal de áudio: (**a**) primeira parte; (**b**) segunda parte.



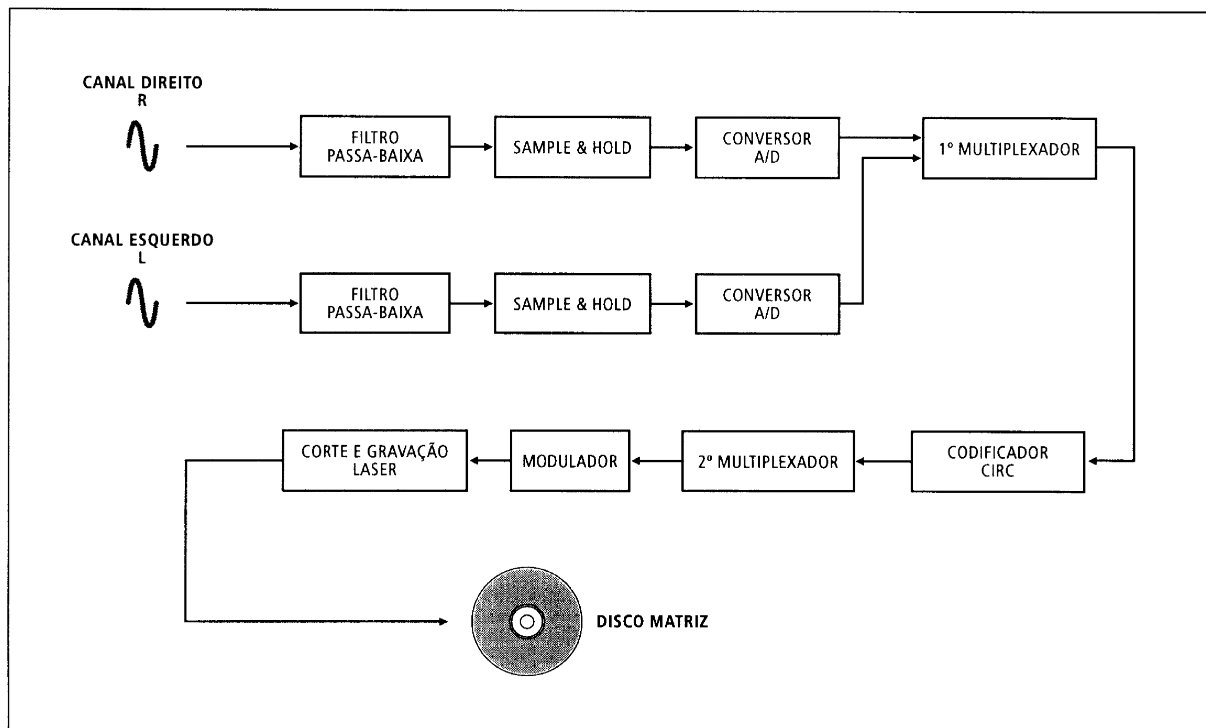


Fig. 13-32: Diagrama de blocos: básico do sistema de codificação digital de áudio.

Após a multiplexação, o sinal digital é aplicado num circuito codificador CIRC, que aplica ao sinal um código corretor de erros.

Agora, o sinal digital passa por um 2° Multiplexador e em seguida, é aplicado num modulador de EFM.

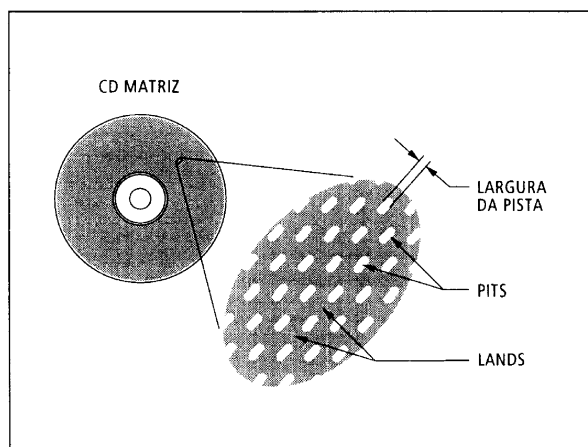


Fig. 13-33: Forma ampliada dos pits que representam binário de 1" no CD.

Em seguida, o sinal de áudio digital será gravado pelo processo LASER, num disco que servirá de matriz para discos de áudio CD's.

A Figura 13-33 mostra, de forma ampliada, um ponto de gravação do CD matriz. Cada pit representa uma pequena "lacuna" deixada pelo feixe laser no material usado para gravação.

"Lands" são as partes não atacadas pelo feixe laser. As Lands situam-se entre os pits.

Um modo simples de entender, é imaginar cada "pit" como representando o valor binário 1", e cada "Land" representando valor binário 0".

Este é o sinal digital que na forma de número binário, está gravado no CD.

Decodificação e Reprodução do Sinal de Áudio

A reprodução do sinal de áudio deve ser feita, seguindo um processo inverso daquele feito na gravação do CD.

A primeira parte do processo de reprodução é feita numa unidade de leitura de dados digitais que

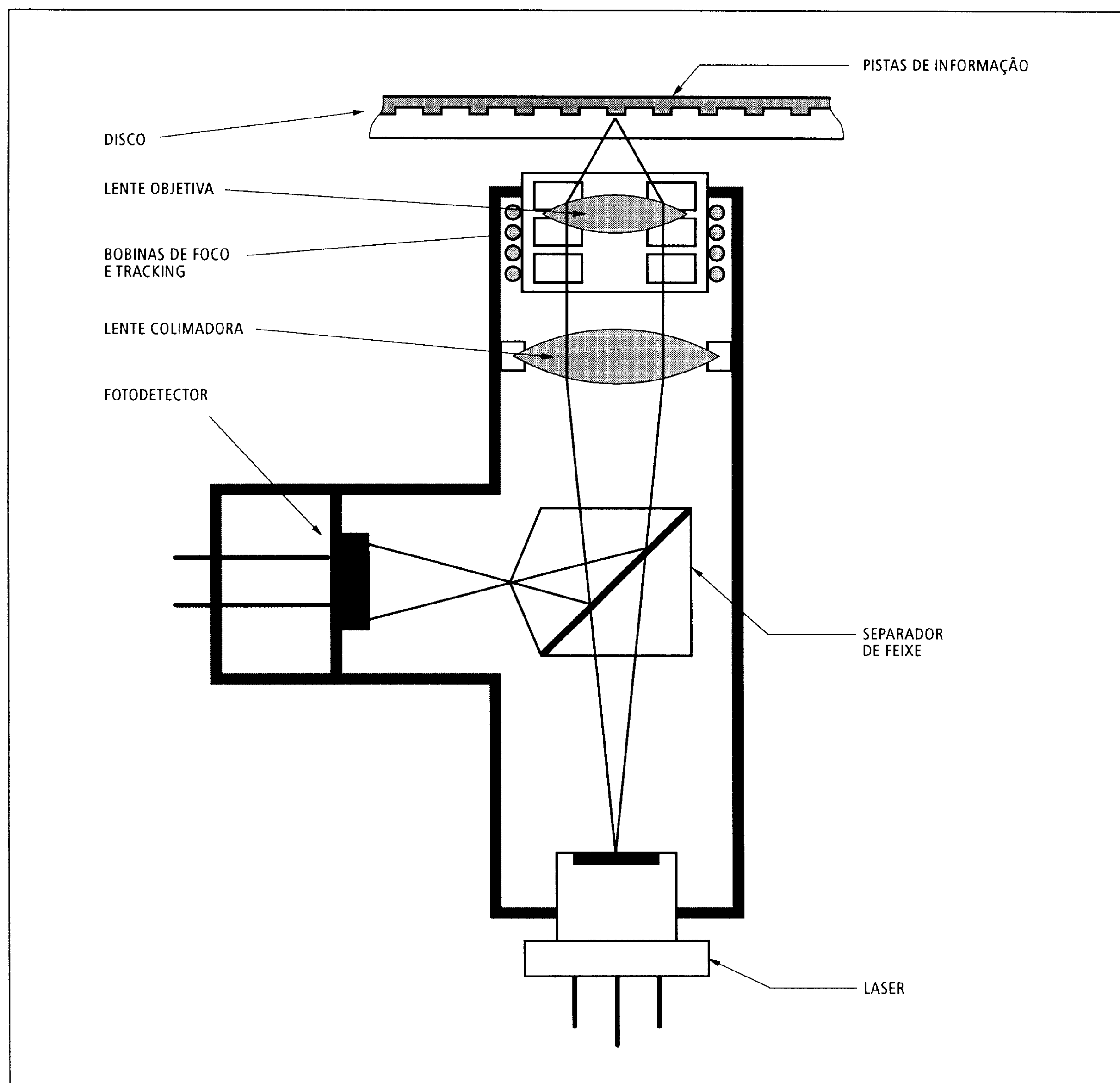
foram gravados no disco. A unidade de leitura é chamada "Pick-Up". Lembrando o transdutor que é preso no braço dos antigos toca-discos de vinil.

No momento da reprodução de um CD, este é inserido no interior do "CD Player" (Reprodutor de CD), e um mecanismo próprio se incumbe de levá-lo à posição própria para leitura do Pick-Up.

A Figura 13-34 mostra um exemplo de unidade de leitura laser. Um emissor semicondutor de laser, envia um feixe pelo sistema de lentes, até a face inferior do disco.

Aqui, o feixe é refletido pelos "pits" e "Lands" e retorna modulado pelas variações que correspondem ao sinal de áudio digital que está gravado no disco. No retorno, o feixe não atravessa o divisor de feixe, mas sim, é refletido para um foto-díodo ou foto-transistor.

Fig. 13.34: Exemplo de unidade de leitura (Pick-Up) para reprodução de CD.



Este dispositivo converte as variações de luz, vindas do disco, em sinais elétricos que são enviados para o estágio demodulador de EFM, que é visto no diagrama em blocos da Figura 13-35.

O sinal digital retirado do Pick-Up é aplicado em um demodulador de EFM , de onde sai com freqüência original de áudio.

Erros que por ventura aconteceram na leitura do disco, são corrigidos pelo estágio "processador e conversor de erros".

No circuito demultiplexador, o sinal multiplexado na gravação, é demultiplexado, passando a existir como dois canais independentes, esquerdo, L, e d-ireito, R.

Um conversor D/A, converte os sinais digitais em variações analógicas de áudio.

Depois de ajustado pelo circuito de Sample & Hold, o sinal de áudio é corrigido em freqüência pelo filtro passa-baixa e aplicado a um circuito pré-amplificador de saída.

AUTOTESTE COM RESPOSTAS

(As respostas com discussões encontram-se no final do capítulo / pág. 302.)

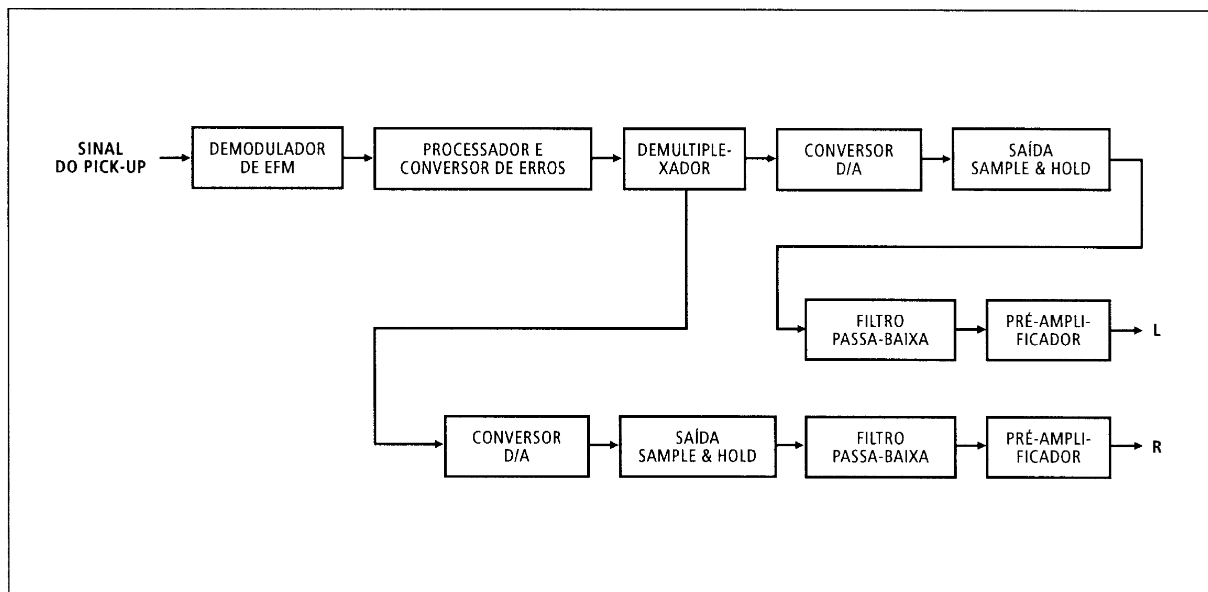
1. O transdutor de saída para um sistema de áudio é:

(a) a caixa acústica;
(b) o alto-falante;
(c) o amplificador de potência;
(d) a fonte de alimentação.

2. Qual dos seguintes tipos de microfone requer uma corrente contínua para sua operação?

(a) capacitivo;
(b) dinâmico;
(c) de fita;
(d) a carvão.

Fig. 13-35: Diagrama de blocos básico do circuito reprodutor de áudio digital.



3. A resposta do material magnético da fita de gravador não é linear. Isto poderia causar distorção; porém, a distorção é evitada usando:

(a) polarização de corrente alternada;

(b) fita com revestimento dos dois lados;

(c) correntes de gravação de menor intensidade;

(d) velocidades maiores da fita.

4. Qual dos seguintes métodos é usado para assegurar que a velocidade da fita sobre as cabeças seja constante?

(a) velocidade constante do carretel enrolador;

(b) velocidade constante do carretel de alimentação;

(c) fita com espessura variável;

(d) tracionador.

5. Qual dos seguintes processos não é um fator de importância no alinhamento da ranhura da cabeça num gravador de fita?

(a) ajuste de azimute;

(b) ajuste de altura;

(c) espessura de fita;

(d) inclinação.

6. O transdutor na reprodução de discos é:

(a) a agulha;

(b) a cabeça;

(c) a cápsula;

(d) o braço de tom.

7. Três tipos de alto-falantes são usados para três faixas diferentes de freqüência. São eles:

(a) os *tooters, barkers* e *squawkers;*

(b) os *squawkers, hawkers* e *rooters;*

(c) *os rooters, tooters* e *hooters;*

(d) os *woofers, squawkers* e *tweeters.*

8. A adição de um desviador a um alto-falante irá aumentar

(a) seu volume em baixas freqüências;

(b) a faixa de freqüência;

(c) o consumo de energia;

(d) as necessidades de corrente.

9. Para uma fonte de alimentação de 60 hertz, a freqüência da ondulação de um retificador de onda completa é:

(a) sempre 60 hertz;

(b) sempre 120 hertz;

(c) igual à freqüência da linha;

(d) igual a três vezes a freqüência da linha.

10. Qual dos seguintes exemplos é um tipo de distorção em amplificadores *push-pull* e amplificadores complementares?

(a) volume;

(b) reversa;

(c) transição;

(d) direta.

11. O sinal de áudio pode ser analógico representado por

(a) pits;

(b) hexadecimais;

(c) binários;

(d) lands.

RESPOSTAS AO AUTOTESTE

1. (**b**) - O alto-falante é o único transdutor na lista.

2. (**d**) - A resistência do elemento de carvão (e a corrente) varia com as pressões sonoras.

3. (a) - A polarização por alta-freqüência faz com que a gravação ocorra somente dentro da faixa de resposta linear da fita.

4. (**d**) - Um sistema tracionador de fita está ilustrado na Figura 13-23 (pág. 291).

5. (c) - A espessura da fita não está envolvida no alinhamento da ranhura da cabeça.

6. (c) - As escolhas (a) e (d) são outros componentes do sistema do toca-discos e a escolha (b) é usada em reprodução de fitas. Somente a cápsula é o transdutor real.

7. (**d**) - Alto-falantes *woofers* para baixas freqüências, alto-falantes *squawkers* para médias freqüências e alto-falantes *tweeters* para altas freqüências.

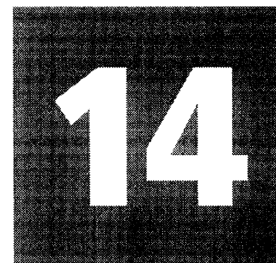
8. (a) - O volume é aumentado porque existe menos cancelamento de pressões de baixa freqüência na frente e na traseira do alto-falante. A Figura 13-14 (pág. 282) mostra os caminhos mais extensos necessários para cancelar as pressões quando o desviador está presente.

9. (**b**) - Esta pergunta não foi respondida diretamente no teste. No capítulo anterior, a experiência demonstrou que os retificadores de meia onda possuem uma ondulação de 60 hertz e os retificadores de onda completa possuem uma ondulação de 120 hertz, quando a freqüência da potência alternada de entrada é de 60 hertz.

10.(c) - Das escolhas indicadas, apenas a transição é um tipo de distorção.

11.(c)

Como funcionam os Receptores de TVC, TV e Aparelhos de Vídeo-Cassete?



INTRODUÇÃO

Neste capítulo você estudará o sistema de televisão em *preto e branco*. Este capítulo será desenvolvido na forma de diagrama de blocos a fim de familiarizá-lo com o processo de transmissão e recepção da imagem de TV.

As imagens de televisão são enviadas na forma de meio-tons. Isso significa que o vídeo ou informação de imagem deve poder transportar todos os tons, do claro ao escuro, do branco ao cinza e ao preto, para poder representar uma imagem completa. O sinal de vídeo determina a intensidade de preto da cena em vários pontos da imagem.

Dois transmissores são usados no sistema de TV. Um é o transmissor *aural* que converte o som num sinal de freqüência modulada. Este é muito parecido com o sinal básico de freqüência modulada que você estudou no capítulo anterior. O outro transmissor converte o vídeo num sinal de amplitude modulada.

Os transdutores são muito importantes tanto no sistema transmissor quanto no sistema receptor. Convertem o som e a imagem em sinais elétricos no transmissor e convertem sinais elétricos em som e imagem no receptor. No transmissor é necessário usar um transdutor para converter a imagem em sinais elétricos, e essa mesma função pode ser realizada por um microfone. No receptor, os sinais sonoros são convertidos novamente em som no alto-falante. Os sinais de vídeo são convertidos de volta numa cena iluminada pelo tubo de imagem.

Em resumo, os transdutores convertem som e luz em sinais elétricos no transmissor e convertem sinais elétricos em imagem e som no receptor.

Uma boa maneira de você iniciar o estudo do sistema de televisão é aprendendo como funcionam os transdutores básicos. De seus estudos anteriores você já sabe como funcionam o microfone e o alto-falante, de modo que iremos nos concentrar no tubo da câmara e no tubo de imagem da televisão.

Depois de estudar este capítulo, você poderá responder às seguintes perguntas:

- **Como são convertidas as imagens em sinais elétricos?**
- **Como são convertidos os sinais elétricos em cenas iluminadas?**
- **O que é varredura e o que é sincronismo?**
- **Qual é a composição do sinal preto e branco?**
- **Quais são os circuitos num transmissor em preto e branco?**
- **Quais são os circuitos num receptor de televisão em preto e branco?**
- **Quais são as freqüências dos canais de televisão?**

INSTRUÇÃO

Como são convertidas as Imagens em Preto e Branco em Sinais Elétricos?

Existem certos materiais que alteram sua carga elétrica ou geram uma tensão quando a luz incide sobre eles. Existem também alguns materiais que emitem elétrons quando expostos à luz. O selênio é um exemplo de material que emite elétrons quando exposto à luz. A maioria dos materiais semicondutores, como aqueles usados na fabricação de transistores, mudam sua condução quando expostos à luz.

O tubo da câmara num transmissor de TV utiliza estes princípios na conversão de uma cena em preto e branco em sinais elétricos. A Figura 14-1 mostra dois exemplos de como isso é feito. Na Figura 14-1a, o objeto na cena a ser televisionada é focalizado através de um sistema de lentes sobre um material fotossensível. A imagem sobre o material fotossensível faz com que este torne-se altamente carregado positivamente em algumas áreas (brancas) e adquira muito pouca carga em outras áreas (escuras). O canhão de elétrons envia um feixe de elétrons sobre a cena em cada linha por vez. Cada linha é chamada de *traço*. Na linha indicada na Figura 14-1a, o feixe começa à esquerda (olhando pela frente), desloca-se através de uma área branca, em seguida numa área escura e mais uma vez numa área clara.

Quando o feixe de elétrons bate sobre a placa do material fotossensível, elétrons secundários (ou de retorno) são emitidos. O número de elétrons secundários depende de quanta carga positiva a placa tem em cada ponto. A quantidade de carga positiva depende da área clara ou da área escura em cada ponto da cena. Assim, os elétrons de retorno variam em número de acordo com as áreas claras e escuras na cena durante sua exploração pelo feixe de elétrons.

Os elétrons secundários voltam para a fonte de alimentação positiva através do resistor R. A corrente variável de elétrons através de R produz uma tensão sobre R que depende a cada instante do número de elétrons secundários. Esta tensão é chamada de *tensão de sinal de vídeo*.

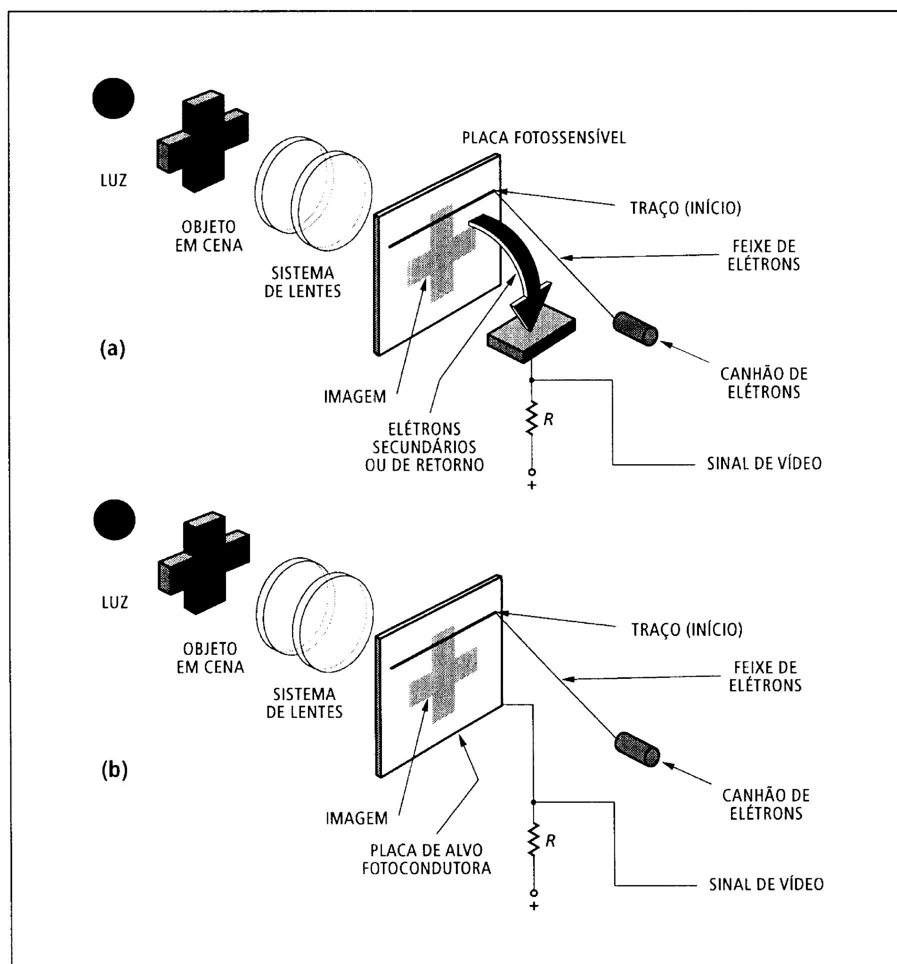


Fig. 14-1: Duas maneiras de converter uma cena num sinal elétrico: (**a**) sinal de vídeo produzido por elétrons secundários ou de retorno; (**b**) sinal de vídeo produzido por uma placa 565 fotocondutora.

A Figura 14-16 mostra uma outra maneira de converter uma cena iluminada num sinal elétrico. O objeto da cena é focalizado através de um sistema de lentes sobre uma placa feita com material de tipo diferente daquele usado no tubo da câmara da Figura 14-1a. Neste caso, a placa é um condutor. Os elétrons no feixe que bate sobre a placa fluem pelo canto da placa através do resistor *R*.

A resistência da placa em qualquer ponto depende da quantidade de luz que incide neste ponto. Portanto, durante a exploração da imagem pelo feixe de elétrons, o valor da condução através de R varia de acordo com as áreas claras e escuras da cena. Os elétrons de retorno que fluem através de *R* produzem uma tensão variável que é chamada tensão do sinal de vídeo.

Qualquer que seja o método usado para produzir o tubo da câmara (Figura 14-1), é necessário ter um canhão de elétrons que desloque em vaivém um feixe de elétrons sobre o material fotossensível.

O movimento de deslocamento do feixe em vaivém sobre o material é chamado de *traço e retraço.* Existem muitas maneiras de realizar isto; porém para a televisão comercial, o método usado consiste em explorar uma linha de cada vez (da esquerda para a direita) voltando o feixe rapidamente para a esquerda e para a próxima linha. Falaremos mais sobre o *traço e retraço* do feixe mais adiante neste capítulo.

RESUMO

1. O sinal de áudio (FM) leva a informação de som num sistema de TV.
2. O sinal de vídeo (AM) leva a informação de imagem em preto e branco num sistema de TV.
3. Transdutores convertem as informações de imagem e som em sinais elétricos no transmissor. No receptor, transdutores convertem os sinais elétricos de volta em som e imagem.
4. Num tubo de câmara, a imagem é focalizada sobre uma placa fotossensível ou fotocondutora. Um feixe de elétrons explora a placa inteira produzindo um sinal de vídeo.
5. Tubos de câmara usam materiais que ou mudam sua constância ou emitem elétrons quando expostos à luz. A mudança na constância ou no número de elétrons emitidos depende da intensidade da luz.

Como são convertidos os Sinais Elétricos em Cenas Iluminadas?

Num sistema completo de televisão não é apenas necessário converter as cenas em sinais elétricos, mas é também necessário converter os sinais elétricos em cenas. Tubos de raios catódicos são usados para converter sinais elétricos em cenas. Mais exatamente, os tubos de raios catódicos convertem os impulsos elétricos em luz.

Existem dois tipos básicos de tubos de raios catódicos (ou tubos de imagem): o tipo com *deflexão eletrostática* e o tipo com *deflexão eletromagnética.* Os dois tipos são muito semelhantes, exceto pela maneira com a qual o feixe de elétrons é deslocado sobre a face ou tela do tubo.

A Figura 14-2 mostra o princípio de operação para um tubo de raios catódicos com deflexão eletrostática. Um canhão de elétrons lança o feixe de elétrons em direção à tela. Esta tela é revestida com um material que emite luz quando atingido pelo feixe de elétrons. O sinal de vídeo é usado para controlar o número de elétrons no feixe de elétrons, controlando assim a intensidade da luz sobre a tela.

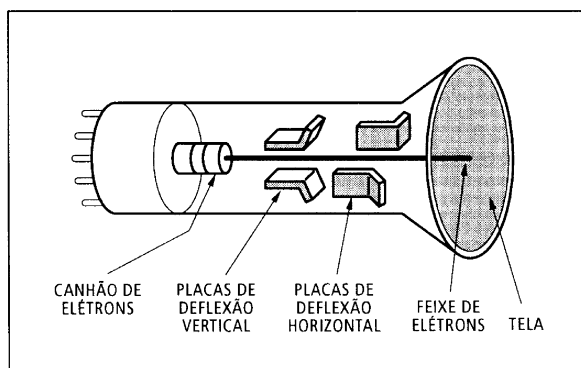


Fig. 14-2: Ilustração do princípio de operação de um tubo de raios catódicos básico.

Como no caso do tubo do transmissor, o feixe do tubo de raios catódicos deve ser deslocado em vaivém sobre a tela. No tubo de raios catódicos da Figura 14-2, dois conjuntos de placas metálicas – chamadas de *placas defletoras* – são usados para defletir o feixe sobre a face da tela. As tensões nas placas defletoras verticais fazem o feixe deslocar-se para cima e para baixo. As tensões nas placas defletoras horizontais fazem o feixe se deslocar da esquerda para a direita ou da direita para a esquerda.

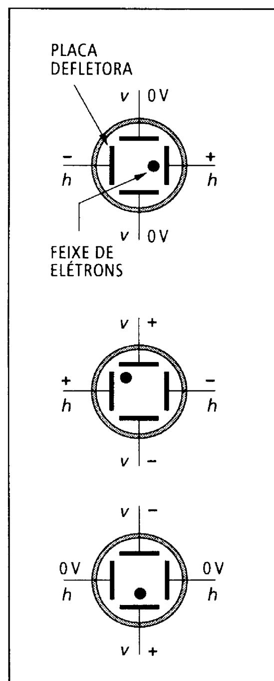
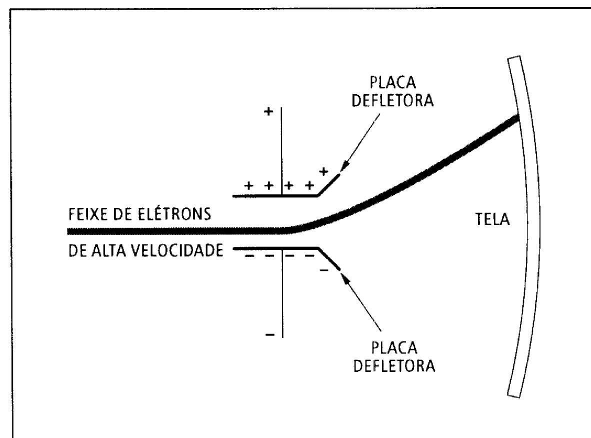


Fig. 14-3: Exemplos de deflexão num tubo de raios catódicos.

As placas defletoras operam sob o princípio de que cargas iguais se repelem e cargas opostas se atraem. Vamos supor que uma placa defletora é tornada positiva e a outra é tornada negativa; a placa positiva irá tender a atrair os elétrons negativos, enquanto a placa negativa irá repelir os elétrons negativos. A Figura 14-3 ilustra o tubo de raios catódicos visto pela frente. A posição do feixe é indicada para várias tensões nas placas defletoras. Em cada caso você poderá ver que o feixe é atraído em direção às placas positivas e afastado das placas negativas.

À primeira vista, você poderia pensar que o feixe iria ser totalmente desviado para a placa positiva e nunca atingiria a tela. Referindo-se novamente à Figura 14-2, você poderá ver que estas placas estão a uma certa distância do canhão de elétrons. A velocidade dos elétrons neste ponto é tão grande que não lhes é possível virar a 90°. Conforme indicado na Figura 14-4, os elétrons batem na tela em algum ponto deslocado do centro, porém não batem nas placas defletoras.

Fig. 14-4: As tensões das placas defletoras desviam o feixe de elétrons.



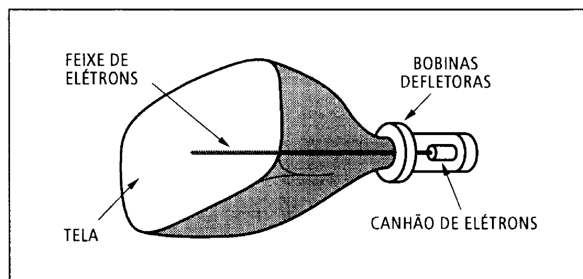


Fig. 14-5: Tubo de raios catódicos com deflexão eletromagnética.

O fato de você poder usar uma tensão positiva ou negativa para deslocar o feixe para qualquer ponto na tela é útil num certo número de aplicações. Um osciloscópio, por exemplo, opera com este tipo de tubo. O feixe é deslocado tão rapidamente que parece produzir uma linha contínua sobre a tela. No tubo de raios catódicos de um receptor de televisão, o feixe é deslocado em vaivém sobre a tela, linha por linha de baixo para cima, para produzir uma área iluminada retangular. Esta área é chamada de *rastro*.

Existem duas maneiras de deslocar um feixe de elétrons durante seu percurso através de um tubo de imagem. A maneira descrita acima é chamada de *deflexão eletrostática* porque as tensões elétricas provocam o movimento do feixe em alguma forma desejada. É também possível defletir o feixe de elétrons com um campo eletromagnético. Quando um feixe de elétrons passa através de um campo magnético, é defletido pelo mesmo. A quantidade de deflexão pode ser controlada, alterando-se o campo magnético.

A Figura 14-5 mostra um tubo de raios catódicos com *deflexão eletromagnética*. Existe um par de bobinas defletoras para deflexão vertical e para deflexão horizontal. As bobinas são localizadas em volta do pescoço do tubo de raios catódicos. O canhão de elétrons lança os elétrons em direção à tela e estes passam através do campo magnético das bobinas defletoras.

Correntes elétricas variáveis fluindo através das bobinas defletoras produzem campos magnéticos que deslocam o feixe de elétrons em vaivém para cima e para baixo, conforme desejado. Isto controla a deflexão.

Em receptores modernos de televisão, a deflexão eletromagnética é mais popular em razão das tensões extremamente elevadas que seriam necessárias para provocar a deflexão eletrostática. Quando se troca um tubo de imagem num receptor de televisão, não é preciso trocar as bobinas defletoras.

Os dois tipos de deflexão usados com tubos de raios catódicos estão resumidos na Figura 14-6.

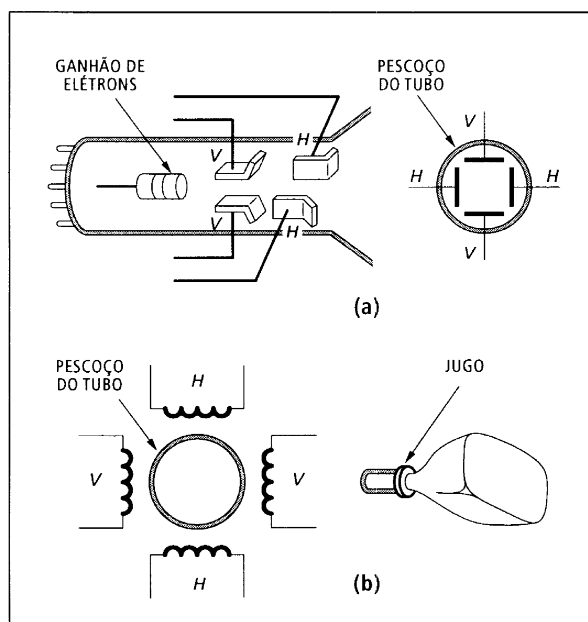


Fig. 14-6: Duas maneiras para defletir o feixe de elétrons num tubo de raios catódicos: (**a**) com placas defletoras; (**b**) com bobinas defletoras.

As placas defletoras, marcadas com um *V* na Figura 14-6a, deslocam o feixe para cima e para baixo, e as placas marcadas com um *H* deslocam o feixe horizontalmente. Na Figura 14-6b são usados dois pares de bobinas defletoras. Observe que a deflexão horizontal é obtida pelas bobinas superior e inferior e a deflexão vertical é obtida pelas bobinas laterais do pescoço. A razão para isto é que os elétrons são defletidos em 90° em relação ao campo magnético. As bobinas defletoras são localizadas num alojamento chamado de *yoke* ou *conjunto de deflexão*.

RESUMO

1. Tubos de imagem em TV são também chamados de *tubos de raios catódicos*. São usados para converter sinais elétricos em cenas de televisão.
2. Dois tipos de tubos de imagem estão em uso. São eles os tubos com deflexão eletrostática e os tubos com deflexão eletromagnética. O tipo com deflexão eletromagnética é o tubo mais popular para uso em televisão.
3. A área retangular iluminada na face da imagem é obtida deslocando o feixe de elétrons em vaivém. Esta área iluminada é chamada de *rastro*.

O que é Varredura e o que é Sincronismo?

A Figura 14-7 mostra uma imagem sobre a tela de um tubo de câmara. O caminho do feixe de elétrons está indicado na Figura 14-7a, conforme o mesmo vai trançando uma linha sobre a tela. O sinal de vídeo para esta linha está indicado na Figura 14-7b. Neste exemplo, quando o feixe está na área clara, a tensão de vídeo é relativamente baixa. Quando a linha está na área escura, a tensão de vídeo é elevada.

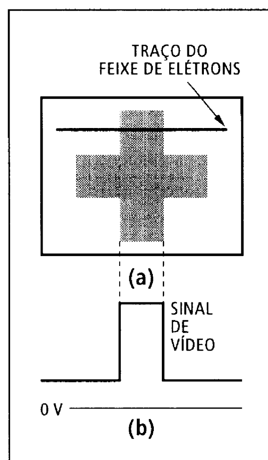
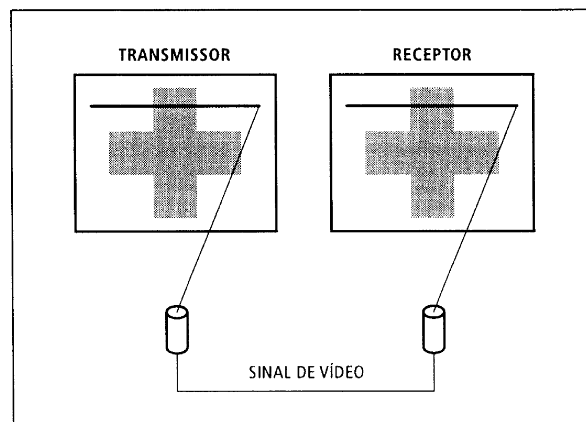


Fig. 14-7: Geração do sinal de vídeo:(**a**) uma linha de traço produz o sinal de vídeo indicado em (**b**).

Para reproduzir uma imagem no receptor, é necessário que o tubo de raios catódicos do receptor produza uma linha de traço exatamente igual àquela do transmissor.

A Figura 14-8 mostra um diagrama de como os feixes no tubo da câmara e no tubo de raios catódicos do receptor são deslocados sobre as telas. Quando os dois feixes estão igualmente deslocados, conforme indicado na Figura 14-8, diz-se que os dois feixes estão *sincronizados*. Para realizar isto, é necessário enviar um sinal especial do transmissor para dizer exatamente ao receptor o momento preciso para iniciar cada linha de traço.

Fig. 14-8: O feixe e o tubo do receptor devem seguir o feixe no tubo do transmissor.



O método de traço das linhas tanto no transmissor quanto no receptor é chamado de *varredura entrelaçada.* A idéia está indicada na Figura 14-9.

As linhas cheias mostram o traço (da esquerda para a direita). As linhas pontilhadas mostram o retraço (da direita para a esquerda). O traço começa em 0 no centro da tela e traça a linha 1. Em seguida retraça e traça a linha 3. Isto continua até serem traçadas todas as linhas de número ímpar.

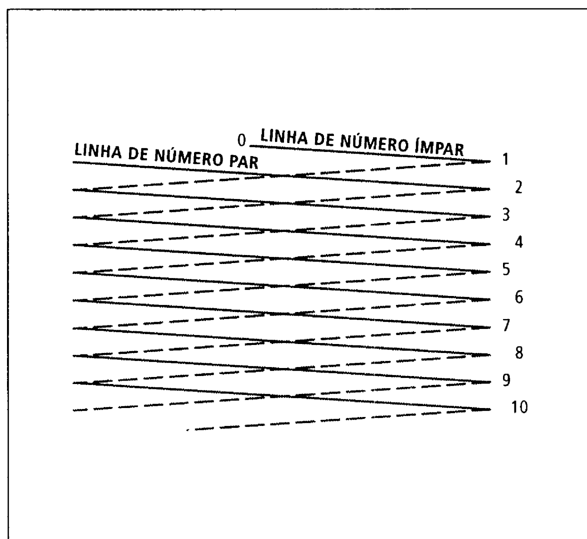


Fig. 14-9: Varredura entrelaçada.

Existem 262,5 linhas de número ímpar. Depois da última linha de número ímpar o feixe é enviado para o lado superior esquerdo da imagem, onde começa a traçar as linhas com número par.

Em resumo, o feixe precisa traçar complemente as linhas de numeração ímpar e em seguida traçar as linhas de número par. Para o olho, a cena parece ser apresentada continuamente porque o feixe está se deslocando rapidamente.

O que são os Campos e os Quadros?

O conjunto de todas as linhas de números ímpares e pares é chamado de *campo.* Quando as linhas de número ímpar e as linhas de número par são combinadas, perfazendo dois campos, a imagem é completa. A imagem completa é chamada de *quadro.* De modo que dois campos formam um quadro.

Você pode estranhar como este entrelaçamento intricado é realizado. Na realidade, o entrelaçamento é controlado pelo sinal do transmissor que informa ao receptor quando traçar as linhas de número par e quando traçar as linhas de número ímpar.

São traçados 60 campos por segundo. Já que são necessários dois campos completos para formar um quadro, existem apenas 30 quadros enviados por segundo. O olho observará apenas 30 imagens completas por segundo.

Já que 60 meia-imagens (campos) são projetadas sobre a tela, o olho será enganado e nos levará a pensar que estamos observando uma imagem contínua. Você não pode ver 60 projeções por segundo.

Suponha que a imagem não estivesse dividida em duas metades e que fossem enviadas apenas 30 imagens completas por segundo. O olho perceberá uma mudança rápida e intermitente de brilho. A varredura entrelaçada é usada de modo que você não possa ver esta variação, já que o olho percebe 60 imagens por segundo.

RESUMO

1. O traço no tubo de imagem é deslocado ao mesmo tempo que o traço do tubo da câmara. Isto é chamado de *sincronização.*
2. A varredura entrelaçada é usada para produzir o rastro.
3. Com varredura entrelaçada, todas as linhas de número ímpar formam um campo e todas as linhas de número par formam o campo seguinte.
4. São necessários dois campos para formar um quadro. O quadro é uma imagem completa de televisão.
5. A varredura entrelaçada é usada para que você não veja a variação que iria ocorrer com apenas 30 imagens por segundo. O olho percebe 60 imagens por segundo.

Qual é a composição do Sinal Preto e Branco?

O sinal de vídeo consiste de variações de tensão que correspondem às áreas claras e escuras na tela do tubo da câmara. Conforme o feixe bate no tubo de raios catódicos do receptor, é emitida a luz. A intensidade da luz depende do número de elétrons no feixe neste instante. O número de elétrons, por sua vez, é controlado pelo sinal de vídeo fornecido para o canhão de elétrons do tubo de raios catódicos. Agora é possível entender o sinal de televisão que é usado para transmitir a cena do transmissor para o receptor.

Vamos começar a olhar o sinal de vídeo para uma linha de varredura. Isto está indicado na Figura 14-10. A Figura 14-10a mostra uma linha de onda de informação de vídeo e identifica cada parte da onda. (A linha seguinte está indicada com uma linha pontilhada). O *pulso de apagamento* horizontal é usado para desligar o feixe durante o tempo que o mesmo está retraçando o lado direito da imagem e voltando para o lado esquerdo. O *pulso sincronizador* acima do pulso de apagamento é parte do sinal que indica ao receptor de TV para recomeçar uma nova linha sincronizada com a varredura do tubo da câmara.

Depois de iniciada a nova linha, começa o sinal de vídeo. O sinal de vídeo varia o número de elétrons no feixe conforme o mesmo se desloca da esquerda para a direita sobre a tela. Quando o feixe atinge o lado direito da tela, o pulso de apagamento desliga novamente o feixe. Em seguida, um novo pulso de sincronização horizontal indica ao receptor de TV para iniciar uma nova linha.

A Figura 14-10b mostra como o sinal de vídeo para uma linha horizontal afeta a intensidade da varredura sobre a tela do tubo de imagem. A parte superior do pulso de apagamento desliga o feixe. O pulso de sincronização é mais positivo que o sinal de apagamento necessário para tornar a tela preta. Diz-se que o pulso de sincronização está na região do *preto-mais-preto*. O nível da linha do sinal de vídeo é branco até que a porção vertical da cruz seja encontrada. Em seguida, o sinal de vídeo torna-se rapidamente positivo e desliga o feixe de elétrons.

Depois de o feixe de elétrons ter passado esta porção preta da imagem, o feixe volta para o nível da tensão branca e permanece nesse nível até ser encontrado o próximo pulso de apagamento.

Lembre-se sempre que apesar de termos gasto um certo tempo para explicar como o processo acontece, na prática ele é bastante rápido. É tão rápido que parece ao olho como se a tela estivesse iluminada sempre. Existem 262,5 linhas para cada campo e são necessários dois campos para formar um quadro. Assim, há 525 linhas por quadro e 30 quadros por segundo. Em outras palavras, seu aparelho de televisão apresenta 30 imagens completas por segundo. Já que existem 525 linhas para cada imagem e 30 imagens por segundo, existem

$$30 \times 525 = 15.750 \text{ linhas individuais}$$

traçadas em sua tela a cada segundo.

É necessário ao transmissor enviar um sinal, para indicar ao receptor quando iniciar uma nova linha.

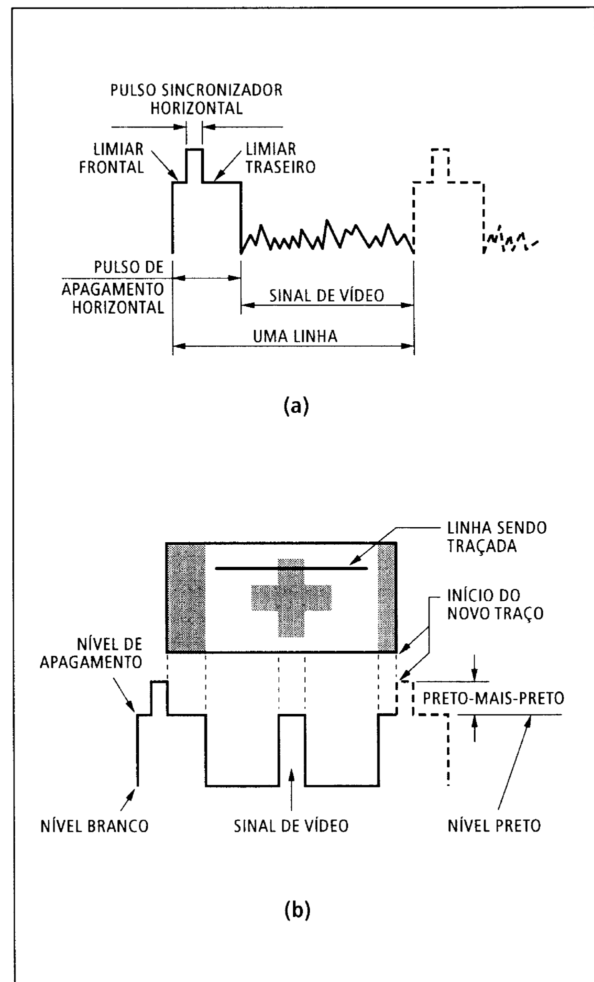


Fig. 14-10: Uma linha de vídeo: (**a**) sinal típico para uma linha de vídeo; (**b**) relação entre a imagem e o sinal de vídeo.

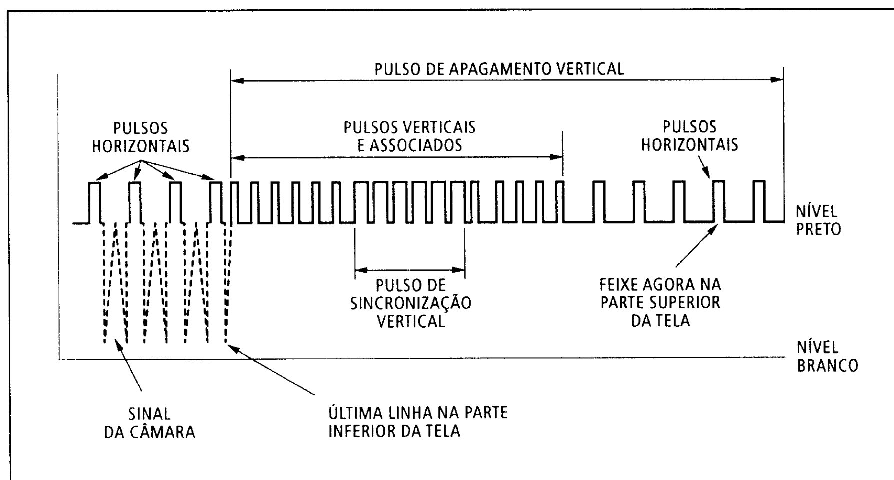
É também necessário enviar um sinal especial para indicar ao receptor o início de um novo campo. Depois de traçadas 262,5 linhas, o feixe deve ser trazido da parte inferior até a parte superior da imagem para iniciar o novo campo. Portanto, um pulso de apagamento vertical e um impulso de sincronização vertical devem ser adicionados ao sinal composto. A Figura 14-11 mostra a aparência do pulso de apagamento vertical.

São necessárias várias linhas para levar o feixe da parte inferior de volta para a parte superior da imagem. É necessário adicionar pulsos de sincronização acima do pulso de apagamento vertical para manter a exploração horizontal no receptor, em fase com o transmissor. Se não fizer isso, quando o feixe atingir o lado esquerdo superior da imagem, levará um certo período de tempo para restaurar a sincronização das linhas horizontais. Portanto, durante o período de apagamento vertical existem ainda linhas horizontais sendo produzidas. Você não pode vê-las porque o feixe do tubo de imagem está desligado pelo pulso de apagamento vertical. Você pode vê-las na Figura 14-11.

O pulso de sincronização vertical é em forma de ranhuras. Isso é necessário para manter a sincronização horizontal em operação durante o período de retraço. Seguindo o pulso de sincronização vertical existem alguns impulsos adicionais usados para manter o receptor em sincronização horizontal até o começo do campo seguinte.

Você viu como o tubo da câmara no transmissor produz um sinal de vídeo e também como este sinal de vídeo é adicionado aos pulsos de apagamento e aos pulsos de sincronização.

Fig. 14-11: Pulso de apagamento vertical.



RESUMO

1. O sinal completo de televisão possui as seguintes partes básicas:
   (a) o sinal de vídeo
   (b) o pulso de apagamento horizontal
   (c) o pulso de sincronização horizontal
   (d) o pulso de apagamento vertical
   (e) o pulso de sincronização vertical
2. O sinal de vídeo altera a luminosidade da linha traçada conforme o feixe de elétrons se desloca sobre a tela.
3. Os pulsos de apagamento desligam o feixe de elétrons durante o tempo de retraço.
4. O pulso de sincronização horizontal comanda o receptor para o início de uma nova linha. O pulso de sincronização vertical comanda o receptor para o início de um novo campo.
5. No sistema de televisão existem:
   (a) 60 campos por segundo
   (b) 30 quadros por segundo
   (c) 15.750 linhas por segundo

Quais são os circuitos num Transmissor em Preto e Branco?

A Figura 14-12 mostra um diagrama de blocos simplificado de um transmissor de televisão em branco e preto. A câmara converte a cena num sinal de vídeo. Os amplificadores de vídeo aumentam a intensidade destes sinais e, em seguida, fornecem os mesmos para um transmissor de amplitude modulada.

Uma seção separada do transmissor de amplitude modulada (gerador de pulsos) produz os *sinais de pulso*. Os sinais de pulso incluem os de anulação e os de sincronização. Observe que os pulsos são fornecidos à câmara para

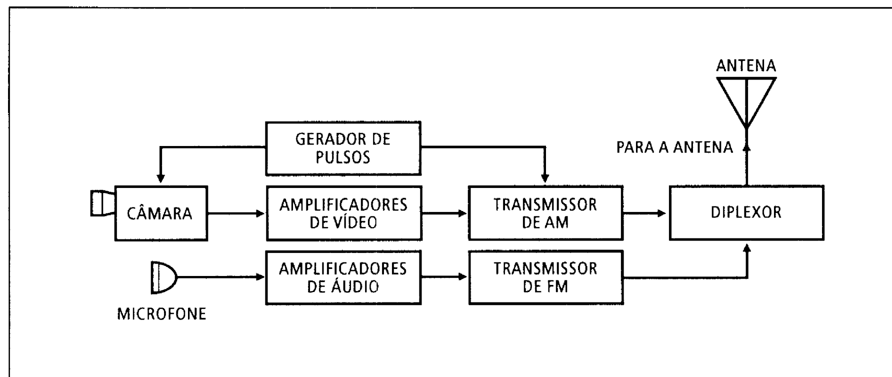


Fig. 14-12: Diagrama de blocos simplificado de um transmissor de TV.

varredura do seu feixe e também para o transmissor de amplitude modulada, de modo que possam ser enviados para o receptor.

A saída do transmissor de amplitude modulada é fornecida a um *diplexor*. Um diplexor é simplesmente um circuito que permite usar uma antena para transmitir dois sinais diferentes ao mesmo tempo.

A seção de som do transmissor é completamente separada da seção de vídeo. Um microfone recebe o sinal sonoro e converte-o em sinal de áudio. Estas variações são aumentadas em intensidade pelos amplificadores de áudio e, em seguida, fornecidas a um transmissor de freqüência modulada. O transmissor de freqüência modulada fornece também seu sinal ao diplexor. O diplexor fornece os sinais de áudio e de vídeo para a antena de onde são irradiados.

É muito importante observar que o sinal de vídeo e os sinais de pulso são enviados na forma de sinais de amplitude modulada, porém a porção de som do sinal é enviada na forma de um sinal de freqüência modulada pelo transmissor de freqüência modulada. Desta forma, um receptor de televisão deve poder detectar ambos os sinais de AM e FM.

Quais são os circuitos num Receptor de Televisão em Preto e Branco?

A Figura 14-13 mostra um diagrama de blocos de um receptor de televisão em preto e branco. O sinal é apanhado pela antena e fornecido ao seletor por uma linha de transmissão. O seletor tem duas finalidades: em primeiro lugar seleciona uma estação e rejeita todas as outras; em segundo lugar converte os sinais de alta freqüência numa freqüência intermediária necessária para sua amplificação. A saída do sintonizador é um sinal de freqüência intermediária, geralmente na faixa de 40 megahertz.

Amplificadores aumentam a intensidade do sinal de freqüência intermediária. Isto é geralmente feito em vários estágios.

A saída do amplificador de freqüência intermediária passa para um estágio detector de vídeo.

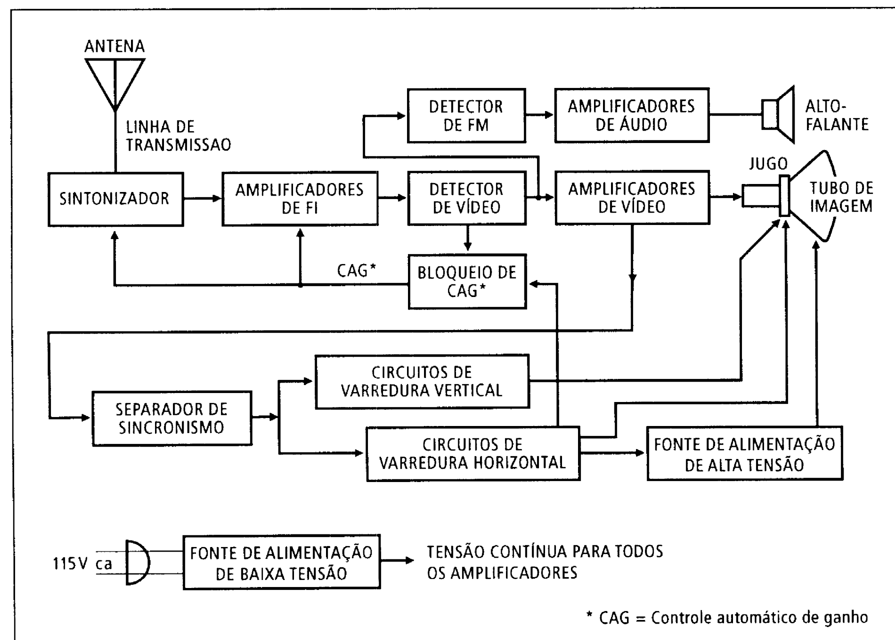


Fig. 14-13: Diagrama de blocos de um receptor de TV.

Este é usado para demodular apenas os sinais de vídeo, de sincronização e de apagamento. O sinal de freqüência modulada não pode ser detectado por este estágio.

Na saída do detector de vídeo, você poderá observar que existe um ponto de tomada para o sinal de freqüência modulada.

O sinal de vídeo e os sinais de sincronização e apagamento passam para seções separadas no receptor. O amplificador de vídeo converte os fracos sinais de vídeo do detector em sinais suficientemente fortes para controlar o feixe de elétrons no tubo de imagem. Os sinais de sincronização tanto horizontal como vertical são fornecidos a um estágio no receptor chamado de *separador de sincronização.* O separador de sincronização permite a separação dos pulsos de sincronização vertical e horizontal em dois sinais individuais – um para operar a corrente para varredura vertical e um para operar a corrente para varredura horizontal. As bobinas de deflexão no tubo de imagem são localizadas no *yoke*. As correntes de varredura deslocam o feixe da esquerda para a direita e de baixo para cima para produzir o rastro.

O que faz o Circuito *Fly-back* de Alta Tensão?

Os circuitos para varredura horizontal operam também uma *fonte de alimentação de alta tensão* separada. O tubo de raios catódicos precisa de uma tensão positiva muito elevada para atrair os elétrons do canhão para a face ou tela do tubo de imagem. Esta tensão pode variar de 12.000 volts para tubos menores até 30.000 volts para tubos maiores. A alta tensão é gerada por um transformador especial do circuito horizontal, chamado de transformador de *fly-back*.

O que faz o Circuito de Controle Automático de Ganho?

A finalidade do circuito de controle automático de ganho é de ajustar o ganho do receptor de acordo com a intensidade do sinal recebido. Para sinais fracos, o ganho do receptor é automaticamente ajustado em um valor elevado, e, para sinais fortes, o ganho é ajustado em um valor baixo. Isto é realizado automaticamente pelo circuito de controle automático de ganho. Porém, não é possível usar o sinal de vídeo composto para produzir a tensão de controle automático de ganho. Se este sinal for usado, o valor da tensão de controle automático de ganho iria depender da luminosidade da cena sendo transmitida.

Para contornar este problema, apenas os pulsos de sincronização na região do preto-mais-preto são usados para produzir a tensão de controle automático de ganho. Esta tensão tem uma amplitude que depende apenas da intensidade do sinal, porém não varia com a variação de luminosidade das cenas que estão sendo transmitidas.

Um pulso de saída dos circuitos de varredura horizontal muda o boqueio de controle automático de ganho para a condição LIGA, no exato instante em que o pulso de sincronização atinge o mesmo. O bloqueio do controle automático de ganho está em condição DESLIGA para todos os outros períodos de tempo. Desta forma, apenas os pulsos de sincronização podem afetar o bloqueio do controle automático de ganho. Estes pulsos são convertidos numa tensão contínua para controlar o ganho do receptor. Os ganhos do sintonizador e os estágios amplificadores de freqüência intermediária são controlados pela tensão de controle automático de ganho.

O tipo de circuito de controle automático de ganho descrito aqui é muito popular em receptores modernos de televisão. É chamado de circuito de *controle automático de ganho chaveado.*

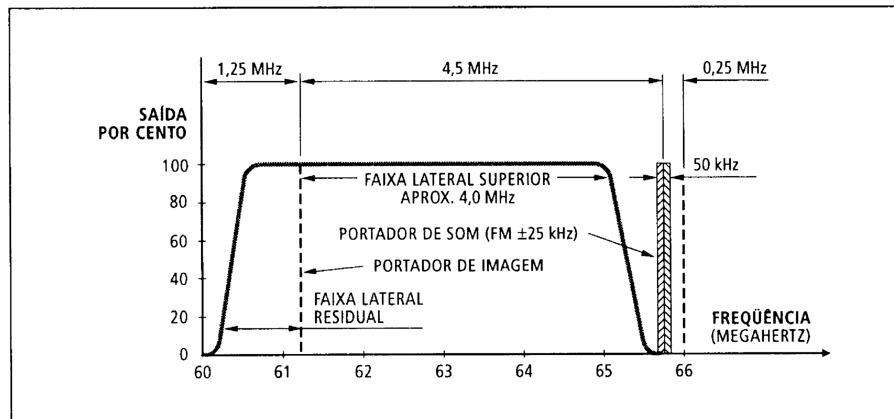


Fig. 14-14: Arranjo de freqüências em cada canal de TV.

PERGUNTAS DE REVISÃO PROGRAMADA

(As instruções para o uso desta seção de revisão programada são fornecidas no Capítulo 1 / pág. 8.)

Iremos rever os conceitos importantes deste capítulo. Se você entendeu o material, poderá progredir facilmente nesta seção. Não pule este material porque nele são apresentadas algumas informações teóricas adicionais.

1 **A faixa de transmissão em freqüência modulada situa-se entre os canais de televisão**

A **4 e 5**
(passe para o item 17).
B **6 e 7**
(passe para o item 9).

2 *A resposta correta para a pergunta no item 10 é B. Já que temos 262,5 linhas por campo e 60 campos por segundo, segue-se que temos:*

262,5 x 60 = 15.750 linhas por segundo

Uma outra maneira para se fazer isto consiste em multiplicar o número de linhas por quadro (525) pelo número de quadros por segundo (30):

525 linhas x 30 = 15.750 linhas por segundo

Aqui está a próxima pergunta:

No sistema de televisão existem:

A **Dois campos por quadro**
(passe para o item 14).
B **Dois quadros por campo**
(passe para o item 20).

3 *A resposta correta para a pergunta no item 14 é B. Mesmo havendo apenas 30 imagens (quadro) completas enviadas a cada segundo, seu olho não observa as variações porque para cada quadro são enviadas duas meia-imagens (campos). Assim, são necessários 60 campos por segundo para produzir 30 quadros por segundo.* Aqui está a próxima pergunta.

No transmissor, os sinais de som (áudio) e de vídeo são transmitidos através de uma única antena. Isto é possível pelo uso de:

A **Um diplexor**
(passe para o item 12).
B **Um duplexor**
(passe para o item 19).

4 *A resposta correta para a pergunta no item 15 é B. A separação de 4,5 megahertz entre as freqüências portadoras de som e de vídeo é importante. Aparelhos interportadores misturam a freqüência portadora de vídeo com a freqüência portadora de som para produzir a freqüência intermediária de som de 4,5 megahertz.*
Aqui está a próxima pergunta.

Em um sistema com controle automático de ganho tipo chaveado, o valor da tensão de controle automático de ganho depende da:

A **amplitude dos pulsos de sincronização**
(passe para o item 10).
B **intensidade do sinal de vídeo**
(passe para o item 25).

5 *Se sua resposta para a pergunta no item 11 é B, está errada. Não é correto chamar a fonte de alimentação de alta tensão de "fonte horizontal".*
Passe para o item 21.

6 *A resposta correta para a pergunta no item 24 é B. Um dos indícios que os técnicos de televisão usam para localizar um defeito num aparelho de televisão é a presença do rastro. Eles sabem que, quando não há rastro, a alta tensão pode estar com defeito. Evidentemente, existem muitos outros indícios que podem ajudar.* Aqui está a próxima pergunta.

Um transdutor converte energia de um sistema para o outro. Indique o nome de dois transdutores usados em receptores de televisão.

....

Passe para o item 28.

7 *Se sua resposta para a pergunta no item 23 é A, está errada. Um receptor RS poderia ser usado em televisão, porém seria muito difícil amplificar a faixa do canal de 6 megahertz através de vários estágios de rádio-freqüência.*
Passe para o item 11.

8 *Se sua resposta para a pergunta no item 15 é A, está errada. Reveja a distribuição de freqüência indicada na Figura 14-4 e, em seguida,* passe para o item 4.

9 *A resposta correta para a pergunta no item 1 é B. Existe um intervalo de 4 megahertz entre os canais 4 e 5, porém a faixa de freqüência modulada não está localizada neste intervalo. A faixa de freqüência modulada está localizada entre 88 e 108 megahertz, que está entre os canais 6 e 7.* Aqui está a próxima pergunta.

O sinal de imagem ou sinal de vídeo é:

[A] **Um sinal de amplitude modulada** (passe para o item 23).
[B] **Um sinal de freqüência modulada** (passe para o item 18).

10 *A resposta correta para a pergunta no item 4 é A. Se você usou o sinal de vídeo para obter a tensão de controle automático de ganho, as tensões seriam diferentes quando aparecessem cenas iluminadas ou cenas escuras. A tensão de controle automático de ganho é uma tensão contínua que depende apenas da intensidade do sinal de TV que está sendo recebido. Os pulsos de sincronização constituem a melhor indicação da intensidade do sinal.* Aqui está a próxima pergunta.

No sistema de televisão existem:

[A] **262,5 linhas por segundo** (passe para o item 16).
[B] **15.750 linhas por segundo** (passe para o item 2).

11 *A resposta correta para a pergunta no item 23 é B. A construção do receptor super-heteródino é uma escolha lógica para televisão. É mais eficiente para passar a faixa necessária de freqüências através dos estágios de freqüência intermediária.* Aqui está a próxima pergunta.

A alta tensão para operar o tubo de imagem pode ser obtida de um sinal no circuito de varredura horizontal. Este tipo de fonte de alimentação de alta tensão é chamado de:

[A] **Uma fonte *fly-back*** (passe para o item 21).
[B] **Uma fonte horizontal** (passe para o item 5).

12 *A resposta correta para a pergunta no item 3 é A. Para sua informação, um* ***duplexor*** *permite usar uma antena tanto para transmissão como para recepção. Um* ***diplexor*** *permite o uso de uma antena para irradiar dois sinais diferentes.* Aqui está a próxima pergunta.

Qual das seguintes proposições descreve o método de transmissão dos sinais de vídeo em televisão?

[A] **Faixa lateral residual** (passe para o item 24).
[B] **Faixa lateral única** (passe para o item 22).

13 *Se sua resposta para a pergunta no item 21 é A, está errada. Um campo é apenas a metade de um quadro.* Passe para o item 15.

14 *A resposta correta para a pergunta no item 2 é A. Dois campos são necessários para formar um quadro completo. Um campo terá todas as linhas de número ímpar e o campo alternado terá todas as linhas de número par (você pode lembrar isto da seguinte forma: um campo não forma um quadro; um quadro forma uma imagem completa).* Aqui está a próxima pergunta.

O número de quadros de televisão por segundo é:

[A] **60** (passe para o item 26).
[B] **30** (passe para o item 3).

16 *Se sua resposta para a pergunta no item 10 é A, está errada. Existem 262,5 linhas para cada campo e existem 60 campos por segundo.*
Passe para o item 2.

17 *Se sua resposta para a pergunta no item 1 é A, está errada. Volte para a Tabela 14-1 e, em seguida,* passe para o item 9.

18 *Se sua resposta para a pergunta no item 9 é B, está errada. O sinal de som, ou áudio, é um sinal de freqüência modulada. O sinal de vídeo é um sinal de amplitude modulada.*
Passe para o item 23.

19 *Se sua resposta para a pergunta no item 3 é B, esta errada. Estude o diagrama de blocos de um transmissor de televisão simples na Figura 14-12 e, em seguida,* passe para o item 12.

20 *Se sua resposta para a pergunta no item 2 é B, está errada. Lembre-se sempre que são necessários dois campos para formar um quadro.*
Passe para o item 14.

21 *A resposta correta para a pergunta no item 11 é A. A fonte de* ***fly-back*** *tira seu nome do fato de que a alta tensão é gerada durante o tempo de* ***fly-back*** *– isto é, durante o tempo de retraço. Este é um período de tempo muito curto, durante o qual o feixe de elétrons é deslocado do lado direito para o lado esquerdo da tela. Uma alta taxa de mudança da corrente é necessária para deslocar o feixe tão rapidamente. A tensão gerada é proporcional à taxa de mudança da corrente e ao número de espiras no transformador de* ***fly-back***.
Aqui está a próxima pergunta.

Uma imagem completa de televisão é chamada de:

[A] **Campo**
(passe para o item 13).
[B] **Quadro**
(passe para o item 15).

22 *Se sua resposta para a pergunta no item 12 é B, está errada. Você estudou a faixa lateral única num capítulo anterior. Você se lembra das desvantagens da faixa lateral única?*
Passe para o item 24.

23 *A resposta correta para a pergunta no item 9 é A. O sinal de som é um sinal de freqüência modulada; porém, o sinal de vídeo, os pulsos de aparamento e os pulsos de sincronização são todos transmitidos com os sinais de amplitude modulada.* Aqui está a próxima pergunta.

Receptores de televisão são:

[A] **Receptores RS (rádio-freqüência sintonizada)**
(Passe para o item 7).
[B] **Receptores super-heteródinos**
(passe para o item 11).

24 *A resposta correta para a pergunta no item 12 é A.* Aqui está a próxima pergunta.

O quadro retangular branco obtido no tubo de imagem por varredura numa direção horizontal/vertical é chamado de:

[A] **Traçador**
(passe para o item 27).
[B] **Rastro**
(passe para o item 6).

25 *Se sua resposta para a pergunta no item 4 é B, está errada. O sinal de vídeo muda com a intensidade da luminosidade da cena. Não seria uma boa indicação da intensidade do sinal.*
Passe para o item 10.

26 *Se sua resposta para a pergunta no item l4 é A, está errada. O número de campos por segundo (60) é maior que o número de quadros (30).*
Passe para o item 3.

27 *Se sua resposta para a pergunta no item 24 é A, está errada. A palavra traçador não foi mencionada com relação à televisão.*
Passe para o item 6.

28 *O alto-falante e o tubo de imagem são ambos transdutores.*

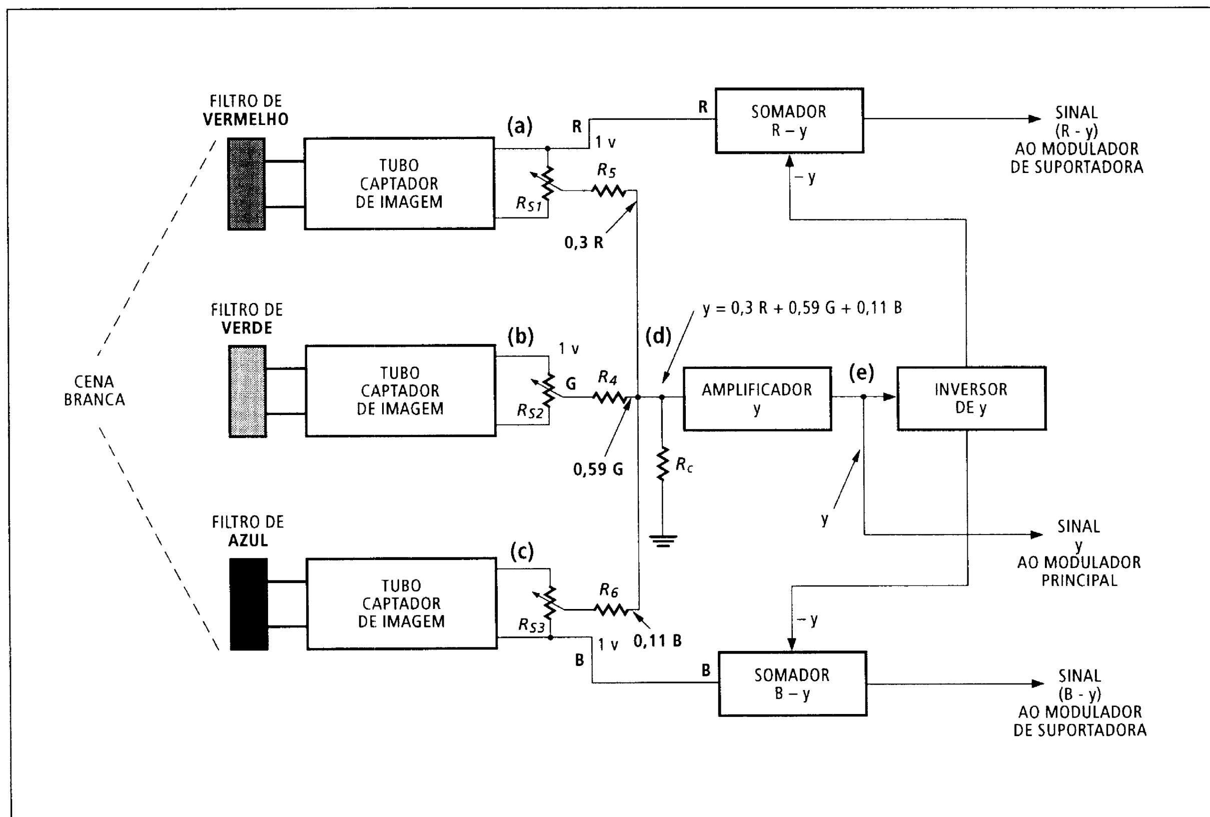
TV em Cores

Antes de abordar todos os quisitos técnicos básicos para uma reprodução quase perfeita de todas as cores e brilho de uma cena viva, o sistema de *TV em cores* passou por muitas fases de aperfeiçoamento.

Com as novas técnicas desenvolvidas pela ciência óptica da época, chegou-se a um ótimo padrão que hoje desfrutamos.

Através de filtros ópticos, todas as cores visíveis de uma cena são condensadas em apenas três cores básicas: vermelha, verde e azul (red, green e blue ou R, G e B). Essas três cores básicas ou primárias, são transformadas em três sinais elétricos. O brilho ou luminosidade da cena é, também, transformada num quarto sinal elétrico chamado sinal y. Os quatro sinais – R, G, B e Y – são transmitidos através de uma onda portadora de rádio-freqüência e, ao chegar no receptor da TV em cores, são reproduzidas na tela de um tubo de imagem.

Fig. 14-15: Sistema codificador de imagem em cores.



Codificação da Imagem

A transformação de uma cena em imagem colorida, tem início num sistema codificador como aquele mostrado na Figura 14-15.

A câmera de vídeo possui três tubos captadores de imagem. Cada um tem na entrada, um filtro óptico de cor.

Cada tubo captador converte a imagem captada em uma tensão elétrica, que na saída do tubo, é ajustada por R_{S1}, R_{S2} e R_{S3}, respectivamente, para um valor apropriado. Esses resistores executam um tipo de calibragem, partindo da captação de uma cena inteiramente branca. Ou seja, uma cena ou padrão branco é colocado em frente à câmera, e a tensão de saída é ajustada para 1 volt nos pontos: (a), (b) e (c), respectivamente. A cor branca é naturalmente uma condensação das três cores primárias: vermelha, R, verde, G e azul, B.

Como sabemos, a cor branca carrega consigo o máximo de brilho ou luminosidade, e a cor preta é a ausência total dessas qualidades. São essas propriedades que permitem a transmissão e reprodução de imagens

através de um sistema de TV, em branco e preto e em cores.

Cada tubo captador filtra e retira da cena branca, o máximo da cor que lhe pertence. Ou seja, vermelho, verde ou azul, de acordo com o filtro óptico colocado na sua entrada.

Após passar pelo filtro óptico e pelo tubo captador, cada uma das cores primárias é transformada em tensão elétrica.

Conforme podemos ver na Figura 14-15, os resistores R_{S1} e R_5 são ajustados para produzir 30% de R (0,30R) no ponto (d).

R_{S2} e R_4 são ajustados para 59% de G (0,59 G) no ponto (d). E o mesmo se dá com R_{S3} e R_6, que são ajustados para reproduzir 11% de B (0,11B), também no ponto (d).

Com a cor branca de entrada e a conseqüente tensão de 1 volt obtida na saída de cada tubo captador (pontos (a), (b) e (c) respectivamente), a tensão no ponto (d) será uma somatória de, 0,30 de R = 0,30 (1v) + 0,59 de G = 0,59 (1v) + 0,11 de B = 0,11 (1v).

A somatória dos valores percentuais de tensão obtidos no ponto (d) dá origem a um sinal de luminância chamado y.

Somando-se os valores percentuais de tensão, 0,30 (1v) + 0,59 (1v) + 0,11 (1v), obtém-se no ponto (d), um sinal y de 1 volt. Esse valor de 1 volt para o sinal y, representa um limite de luminosidade, ou seja, 1 volt representa a cor branca ou máxima luminosidade e 0 volt, representa cor preta ou ausência total de luz. Qualquer televisor – branco e preto ou em cores, reproduz branco, preto e todos os tons de cinza, partindo dos valores de tensão – de 0 volt a 1 volt – dados para o sinal y.

O amplificador y, mostrado na Figura 14-15, produz um ganho de tensão relativo para compensar eventuais perdas causadas por R_4, R_5 e R_6.

Da saída do amplificador, o sinal y é aplicado ao inversor de y e a um Modulador de Portadora Principal de vídeo.

O circuito inversor de y é um inversor de polaridade e o sinal –y, tomado na saída desse circuito, é aplicado ao somador (R – y) e ao somador (B – y). Estes circuitos produzem uma soma algébrica de –*y* com *R*, e –y com *B*, respectivamente. O resultado é a produção de dois sinais de Diferença de Cor, (R – y) e (B – y).

Os sinais de diferença de cor, (R – y) e (B – y) correspondem às cores tomadas da cena e juntos, podem ser tratados como sendo um sinal de cor ou de crominância do sistema de TV em cores.

Com uma cor branca na entrada da câmera, o valor de saída do sinal y é 1 volt.

Na saída do somador (R – y), a tensão tem valor igual a (R – y) = (1 v – 1 v) = 0 volt.

Da mesma forma, na saída do somador (B – y), a tensão tem valor igual a (B – y) = (1v – 1v) = 0 volt.

Este resultado está correto, já que a cena de entrada não é nem vermelha nem azul, mas sim, branca.

Se houvesse um terceiro sinal de Diferença de Cor (G – y), este também teria valor de 0 volt.

No sistema atual de TV em cores, só há dois sinais de Diferença de Cor: (R – y) e (B – y). Qualquer valor correspondente ao sinal (G – y), é subdividido em: 51% para (R – y) e 19% para (B – y). Essa forma de codificação é necessária, de modo a permitir que o sinal da crominância seja formado por uma soma geométrica de apenas dois sinais, (R – y) e (B – y).

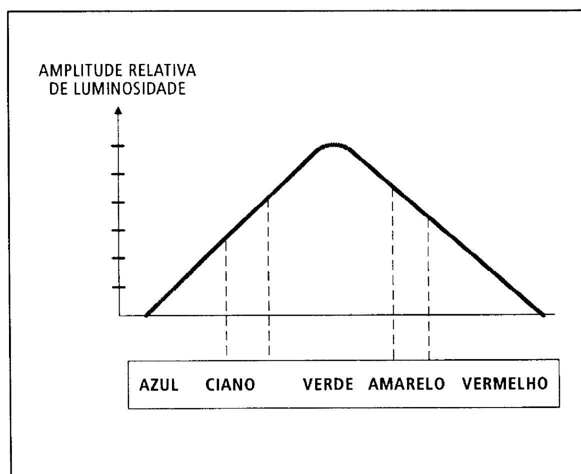
Num receptor de TV em cores, o sinal de crominância é decomposto nos dois sinais, (R – y) e (B – y) e depois, (G – y) é extraído destes. Em seguida, um circuito decodificador ou de matriz, permite recuperar R, G, B e y, que foram tirados da cena.

■ Exemplo de codificação:

Suponha um objeto cuja superfície seja de cor vermelha saturada (vermelho puro). A captação desta cena pela câmera de vídeo produz na saída do tubo captador de *R* uma tensão de 1 volt no ponto (a) da Figura 14-15.

Como não há verde nem azul no vermelho puro, as saídas, G [ponto (b)] e B [ponto (c)] apresentam tensão zero.

Fig. 14-16: Amplitude relativa de luminosidade das principais cores do espectro visíveis.



R_{S1} e R_5 reduzem a tensão do ponto (a) para 0,30 (1 v) = 0,3 volt no ponto (d). Esse é o valor do sinal y que será irradiado. O somador (R – y) recebe uma tensão *R* de 1 volt, vinda do ponto (a) e, – 0,3 volt do sinal –y. Na saída deste somador (R - y) obtém-se um valor igual a (1 – 0,3) volt = 0,7 volt.

A saída do somador (B - y), apresenta uma tensão de (0 – 0,3) volt = –0,3 volt.

Resumindo: y = 0,3 volt; (R – y) = 0,7 volt; (B – y) = –0,3 volt.

Se houvesse uma saída de (G – y), esta seria um valor de tensão de, (G – y) = (0 – 0,3) volt = –0,3 volt.

Transmissão do Sinal de Vídeo

Na transmissão de um sinal de imagem em branco e preto, o único sinal de vídeo a ser transmitido é o sinal y de Luminância.

A amplitude deste sinal é representada por um valor equivalente de tensão. Uma tensão igual a zero cor-responde à ausência total de luminosidade. Tensão zero na entrada do tubo de imagem torna a tela totalmente apagada, ou seja, sem qualquer luminosidade.

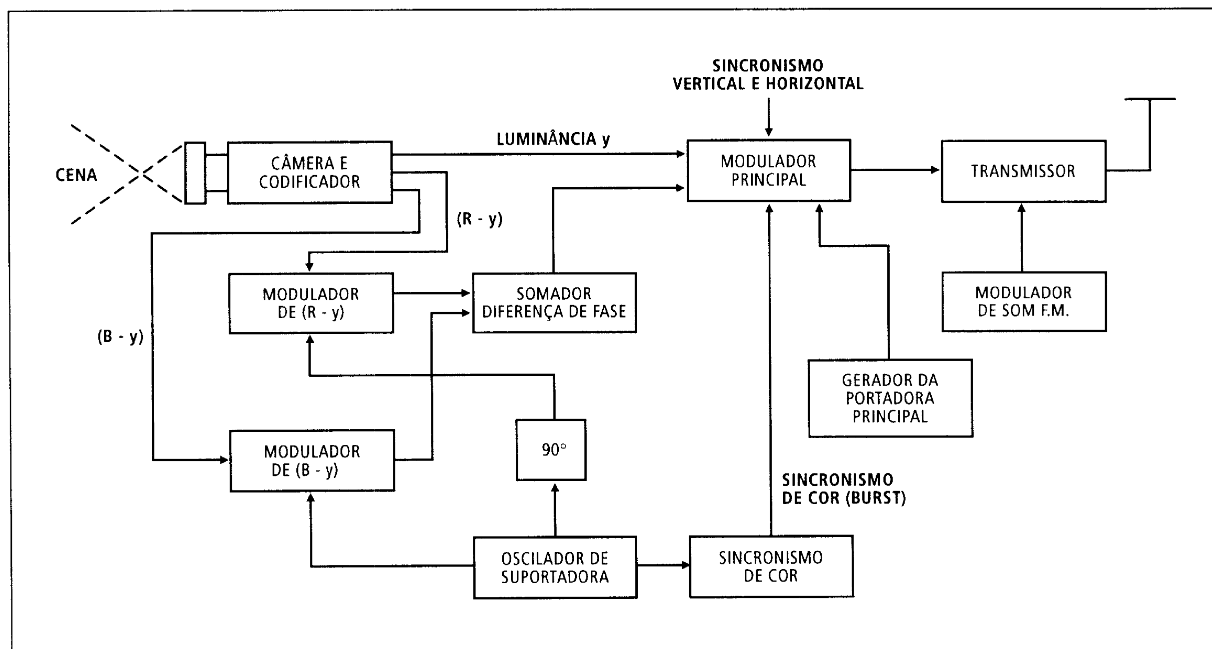
Uma cena branca na entrada de uma câmera de TV em branco e preto, produz na saída desta, um sinal y de 1 volt. Qualquer cor situada entre preto e branco, produz um valor de luminosidade y equivalente a um tom de cinza qualquer. Veja na Figura 14-16, os valores relativos de amplitude de luminosidade das principais cores do espectro visível. Como se pode ver na figura, a cor verde é aquela que tem maior amplitude de luminosidade. A cor azul é a que tem menor luminosidade. São esses vários graus de luminosidade, que na TV em branco e preto, representam as respectivas cores.

A Figura 14-17 mostra como é feita a modulação e transmissão dos sinais de vídeo num sistema de TV em cores.

Um Modulador Principal recebe todos os sinais de vídeo, inclusive os sinais de Sincronismo Horizontal e Vertical e Sincronismo de Cor. Neste estágio, a Portadora Principal (a mesma que foi estudada no capítulo de TV em Branco e Preto) é modulada por todos os sinais de vídeo, conforme é visto na Figura 14-17. Essa portadora é produzida no estágio gerador da Portadora Principal.

A imagem colorida que aparece na tela de um receptor em cores é formada por uma imagem em branco e preto e de uma imagem colorida. Comprove isso reduzindo ao mínimo o controle de saturação existente no painel de ajustes do televisor. Isso demonstra que a portadora principal de imagem carrega consigo dois sinais de vídeo: um de luminância y, que é o sinal de imagem branco e preto, e outro, que é o sinal de crominância C. Este último, formado pela somatória

Fig. 14-17: Circuito codificador e transmissor de TV em cores.



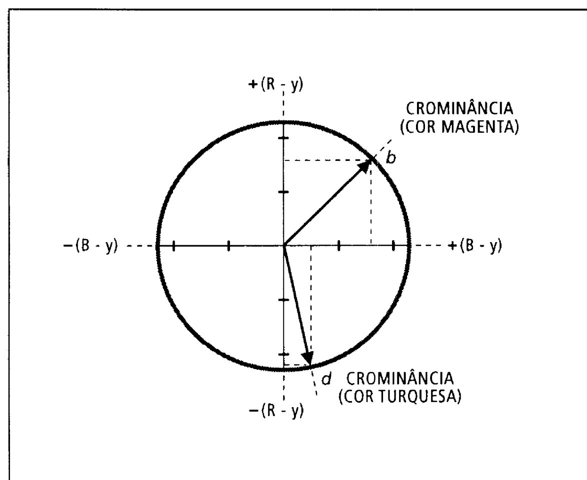


Fig. 14-18: Soma vetorial de (R – y) e (B – y) produz o sinal de crominância.

geométrica ou vetorial de (R – y) com (B – y). Essa somatória é feita no circuito Somador de Diferença de Cor, visto na Figura 14-17. Este circuito, capta os respectivos sinais, vindos do Modulador de (R – y) e do Modulador de (B – y). A modulação feita nestes circuitos é chamada Modulação com Portadora suprimida. Este tipo de modulação é feita sobre uma subportadora de cor, que tem freqüência aproximada de 3,58 Mhz.

Esta subportadora é gerada no Oscilador de Subportadora. Observe que, antes da subportadora ser aplicada ao Modulador de (R – y), ela passa por um circuito que muda sua fase em 90° em relação àquela que é aplicada ao Modulador de (B – y). Esse processo é necessário para que na sequência, possa haver somatória vetorial, feita no estágio Somador de Diferença de Cor.

A Figura 14-18 mostra um diagrama vetorial que representa a situação de (R – y) e (B – y), após a modulação da subportadora de cor e após a somatória vetorial.

Conforme visto no diagrama, quando (R – y) e (B – y) têm valores positivos iguais, a soma vetorial resultante cai no primeiro quadrante do diagrama. O resultado é um sinal de crominância C de cor magenta (mistura de vermelho e azul) no ponto *b*.

O diagrama vetorial de Figura 14-18 mostra também a hipótese de (B – y) ser positivo e ter valor menor que (R – y) com valor negativo. Neste caso, o vetor do sinal de crominância vai situar-se no quarto quadrante e num ponto *d*. Agora, a soma vetorial produz uma cor turquesa. O sinal de crominância C, tomado na saída do circuito Somador de Diferença de Fase, já é um sinal que se encontra "embutido" na subportadora de cor de 3,58 Mhz. Agora, o sinal de crominância já pronto, é aplicado ao Modulador Principal.

Aqui, a verdadeira Portadora Principal de Vídeo, aquela que leva todo o sinal de Vídeo e Sincronismo até os receptores, é modulada e depois aplicada no circuito transmissor. Este último, tem a função de amplificar e sintonizar a Portadora Principal de Vídeo, aquela que leva todo o sinal de vídeo e sincronismo até os receptores, que é então modulada e depois aplicada no circuito transmissor. Este último, tem a função de amplificar e sintonizar a Portadora Principal de Vídeo, modulada em AM e transferí-la para a Antena Transmissora. É aqui que a Portadora Principal de Vídeo e a Portadora de Som, modulada em FM recebem a potência necessária para serem irradiadas.

Brilho, Matiz e Saturação

Quando se trata de TV em cores, é preciso considerar três fatores que são básicos à existência do sistema. Estes são: *Brilho*, *Matiz* e *Saturação*. Brilho e Luminosidade podem ser tratados como sinônimos e representando a quantidade de luz irradiada da tela de um receptor de TV. Todo televisor, seja em branco e preto ou em cores, possui um controle de Brilho ou Luminosidade. Por meio desse controle, ajusta-se a intensidade de luz contida na imagem.

Se o televisor é branco e preto, o que brilha mais ou menos, são as partes brancas ou o fundo

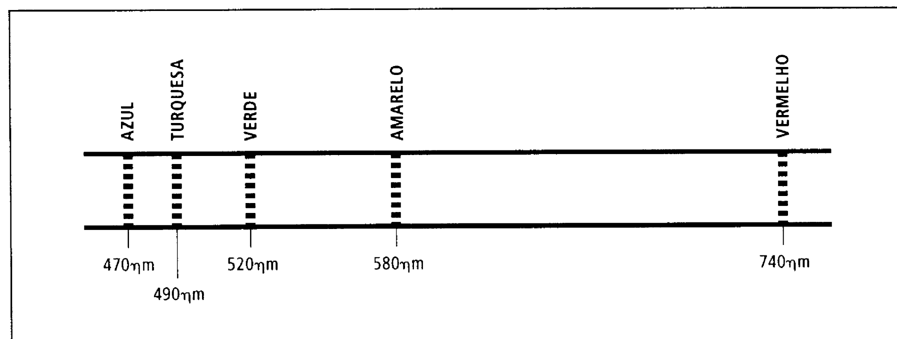


Fig. 14-19: Comprimento de onda, em nanômetros, das principais cores do espectro.

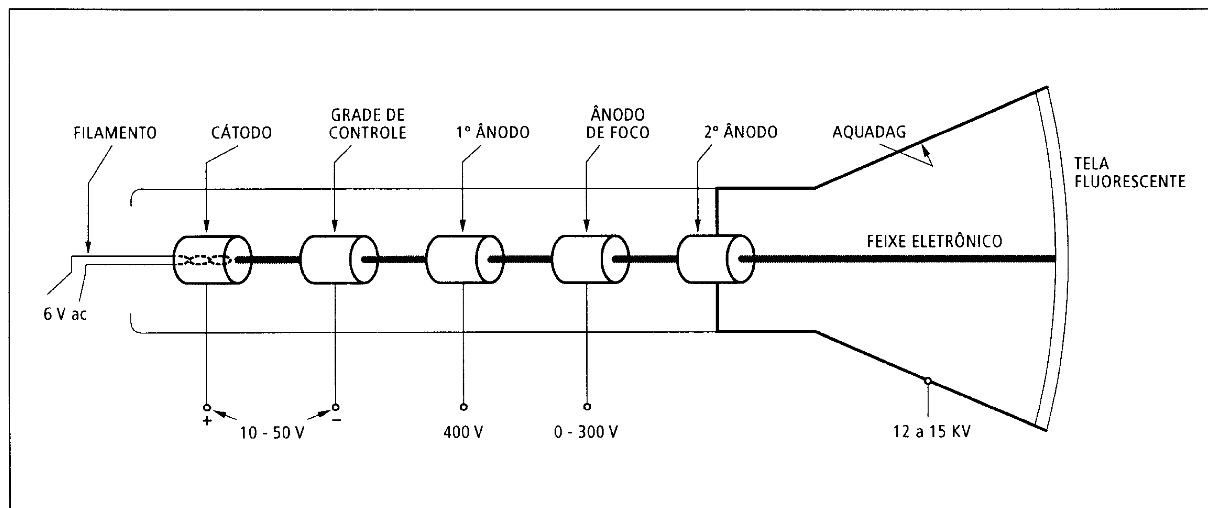


Fig. 14-20: Forma básica e um cinescópio em branco e preto.

branco da imagem. Se o televisor é em cores, a maior e menor intensidade de brilho, se dá sobre todas as cores e também sobre o fundo branco da imagem.

Mesmo as cores ambientais oferecem intensidade de brilho maior ou menor, conforme vimos na Figura 14-16.

O matiz de uma cor é a própria cor. Ou seja, o matiz da cor verde é diferente do matiz azul, etc. É o comprimento de onda emitido pela cor que determina o seu matiz. A Figura 14-19 mostra a escala de cores visíveis e os respectivos comprimentos de onda, em nanômetros (milionésima milésima parte do metro).

Saturação representa a pureza da cor, isto é, a ausência de branco na cor. As cores primárias: vermelha, verde e azul, quando puras, são saturadas.

Para dessaturar qualquer das três cores primárias, adiciona-se branco à mesma. Quanto mais branco adicionado, menos saturada se torna a cor.

Quando se trata de TV em cores, a quantidade de saturação é dada pela maior ou menor amplitude do sinal de crominância. Todo televisor em cores possui um controle de Saturação de Cor.

Tubo de Imagem Monocromático

O tubo de imagem de um receptor de TV é chamado de cinescópio ou Tubo de Raios Catódicos (TRC). Este é o dispositivo responsável pela reprodução da imagem.

Cinescópio monocromático é aquele usado nos televisores em branco e preto. A Figura 14-20 mostra a forma básica de um cinescópio monocromático. O pescoço do mesmo abriga os elementos principais que geram e controlam o feixe eletrônico.

Um filamento alimentado com 6 volts em corrente alternada tem a função de aquecer o cátodo. Este, por sua vez emite o feixe de elétrons, cuja intensidade é controlada por uma grade de controle. Quanto menos negativa estiver esta grade em relação ao cátodo, maior é a corrente do feixe eletrônico.

O 1° ânodo é polarizado com aproximadamente 400 volts. Esta tensão acelera o feixe eletrônico. O segundo ânodo é polarizado por uma alta-tensão de 12 a 15 KVolts. Isto é necessário, devido à distância do 1° ânodo até à tela. Com a alta-tensão aplicada no 2° ânodo, o feixe é acelerado suficientemente para bater na camada fluorescente e fazer a tela acender.

O ânodo de foco, situado entre o 1° e 2° ânodos, atua como uma lente eletrônica, fazendo o feixe tornar-se fino o suficiente para produzir uma boa reprodução da imagem.

Num cinescópio monocromático, a reprodução da imagem se dá devido às variações de luz nos diversos pontos da tela. A tela do cinescópio é coberta inteiramente por uma camada de fósforo que se ilumina, toda vez que o feixe eletrônico incide sobre a mesma.

Quanto maior é a intensidade do feixe, maior é a quantidade de luz produzida.

O feixe explora a tela na forma de linhas. Quando o feixe é interceptado antes de alcançar a tela, o ponto do fósforo, onde o feixe iria bater, não acende. Este é um

ponto escuro da imagem. A imagem em branco e preto é uma seqüência de pontos escuros e claros.

O sinal de vídeo ou de luminância, num televisor em branco e preto, é aplicado entre o cátodo e a grade de controle do cinescópio. As variações de amplitude do sinal de vídeo, produzem variações de luminosidade e contraste que se resumem na imagem em branco e preto. As variações na polarização grade-cátodo provocam mudanças na intensidade de corrente do feixe eletrônico. A imagem formada na tela do cinescópio é resultado das mudanças na intensidade de corrente do feixe eletrônico.

Cinescópio em Cores

O cinescópio empregado num televisor em cores, é chamado *tricromático*, devido à sua tela ser coberta com fósforo que acende com as três cores: R, G e B. Há dois tipos de cinescópio tricromático atualmente: em Delta e In Line. O primeiro possue três canhões eletrônicos dispostos em Delta, ou seja, na forma de um triângulo equilátero. O segundo é o mais moderno. Neste cinescópio, os três canhões são dispostos em linha. A Figura 14-21 mostra a forma esquemática de um tubo tricromático e a Figura 14-22 mostra como são dispostos os canhões eletrônicos.

Nos dois tipos de cinescópio, a tela é coberta com tríades de fósforo fluorescente. Cada tríade é formada por três pontos de fósforo, circulares ou retangulares.

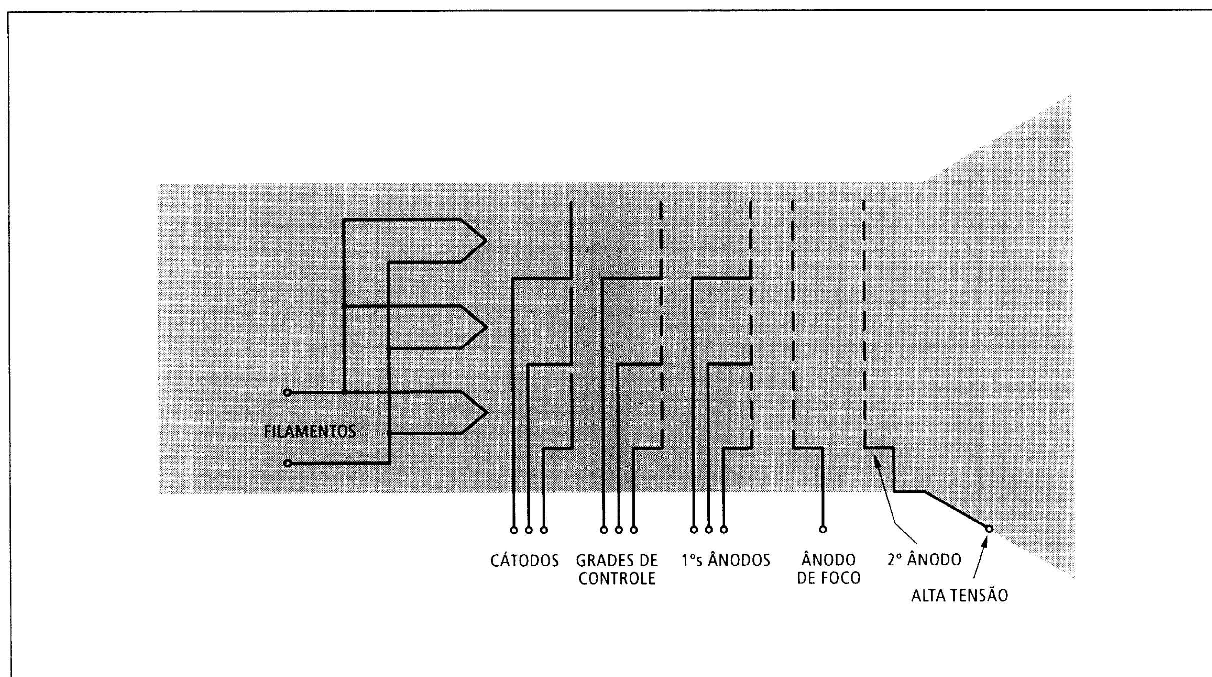
No cinescópio Delta, a tríade é disposta na forma de triângulo equilátero, com os três pontos de fósforo – R, G e B – situados nos vérticais do triângulo. Veja a Figura 14-22a. No cinescópio In Line, a tríade é formada por três fósforos – R, G e B – retangulares dispostos lado a lado, formando uma linha. Veja a Figura 14-22b.

Conforme mostra a Figura 14-21, qualquer tipo de imagem multicor possue três canhões eletrônicos: vermelho (R), verde (G) e azul (B). No tubo Delta, os três canhões estão dispostos na forma de triângulo equilátero e no tubo In Line, a disposição dos canhões é alinhada – um ao lado do outro.

No cinescópio Delta, uma máscara de sombra perfurada é disposta a 5 cm da tela.

Os três feixes eletrônicos devem passar exatamente por dentro de cada furo da máscara para atingir a tela. A função da máscara de sombra é fazer com que cada feixe incida somente sobre seu respectivo fósforo. Para os dois feixes restantes, a máscara produz uma sombra que impede que qualquer ponto de fósforo receba um feixe não correspondente. No cinescópio In Line, a máscara de sombra é substituída por uma grade de abertura. Aqui também os três feixes eletrônicos devem

Fig. 14-21: Forma esquemática de um cinescópio tricromático.



passar por cada uma das aberturas da grade. A função da grade de abertura é a mesma da máscara de sombra. Observe na Figura 14-22, que os três feixes passam num só furo ou abertura da máscara ou grade, mas somente um feixe chega ao seu ponto de fósforo correspondente.

Observando de perto, um tubo de imagem colorido, no momento da produção de luz branca, nota-se os três pontos de fósforo acesos. A pequena distância permite distinguir cada fósforo, com sua cor correspondente R, G ou B. À maior distância da tela, não há mais percepção das três cores básicas, mas sim, de luz branca.

Se os três fósforos acesos na proporção correta produzem luz branca, então para produzir amarelo, por exemplo, interrompe-se o feixe azul (B) e deixa-se que a tela receba os feixes vermelho (R) e verde (G), nas devidas proporções.

A interrupção ou regulagem de intensidade de cada feixe é dada pela diferença de potencial aplicada entre a grade de controle e o cátodo do correspondente canhão. Por exemplo: para fazer a tela ficar inteiramente azul, aplica-se uma tensão muito negativa na grade de controle (em relação ao cátodo) dos canhões vermelho (R) e verde (G).

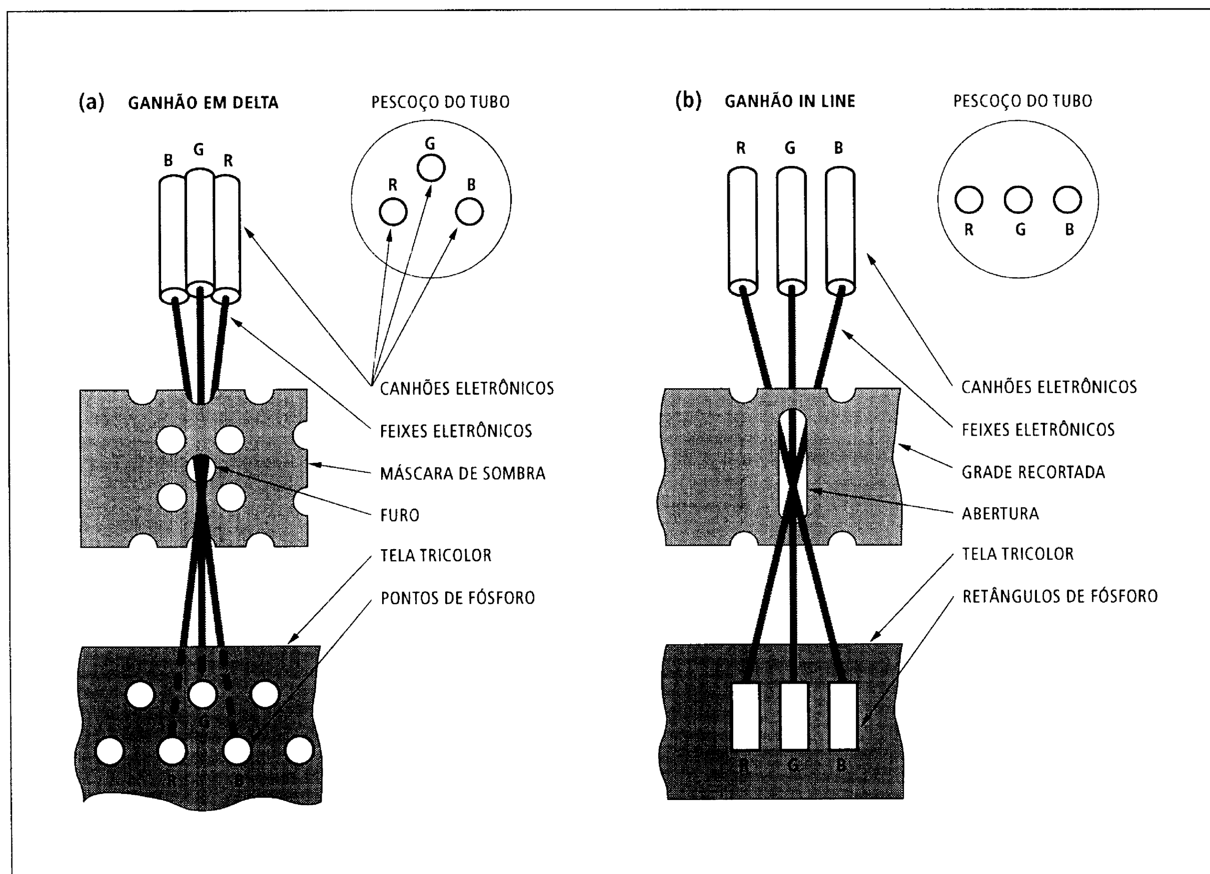
O mesmo processo é usado quando se deseja fazer a tela ficar verde ou vermelha. Só que neste caso, trabalha-se nos canhões R e B ou G e B, respectivamente.

Receptor de TV em Cores

A Figura 14-23 mostra em blocos, as partes principais que compõem um receptor de TV em cores.

Os circuitos de sintonia, existentes no interior do seletor de canais, permitem escolher e amplificar um canal de TV, dentre aqueles que são recebidos pela antena. O canal escolhido possue duas portadoras: uma de vídeo e outra de som. A portadora de vídeo carrega um sinal de Luminância y, uma subportadora de 3,58 Mhz,

Fig. 14-22: Disposição dos canhões num tubo de imagem em cores.



modulada pelo sinal de crominância, um sinal de sincronismo de cor e os sinais de sincronismo, vertical e horizontal.

A portadora de som é modulada em freqüência e carrega consigo apenas o sinal de som.

As duas portadoras moduladas de R-F são levadas do seletor até um amplificador de F.I. e depois, ao Detetor de Vídeo. Neste estágio, a portadora de vídeo é eliminada, restando apenas os sinais moduladores.

No circuito do Detetor de Vídeo, a portadora de som em FM tem sua freqüência reduzida para 4,5 Mhz e depois, encaminhada para os circuitos de som. Os sinais moduladores da Portadora de Vídeo: Luminâncias, Subportadora de cor modulada por (R – y) e (B – y) e os sinais de sincronismo, são enviados aos seus respectivos estágios.

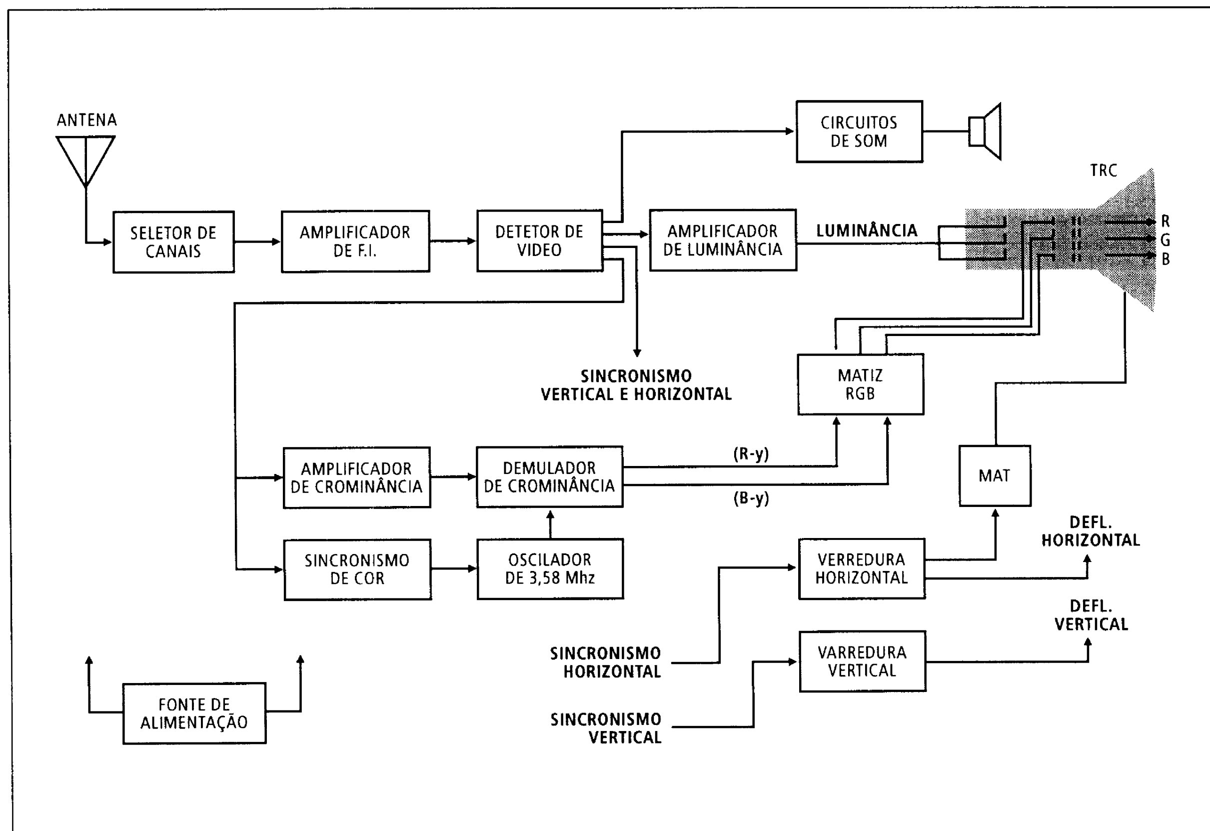
O sinal de Luminância passa pelo Amplificador de Luminância e em seguida, é aplicado aos cátodos do cinescópio. Os sinais de sincronismo vão aos respectivos circuitos de varredura, horizontal e vertical.

O sinal de crominância com sua subportadora é aplicado a um Amplificador de Crominância. Na entrada deste circuito, o sinal de Sincronismo de Cor é barrado e se dirige para um circuito de Sincronismo de Cor e depois, ao Oscilador de Subportadora de 3,58 Mhz. O sinal de Sincronismo de Cor tem a tarefa de sincronizar o oscilador de 3,58Mhz do receptor, com o Oscilador de Subportadora da emissora. O sinal de crominância passa, do Amplificador de Crominância para o circuito Demodulador de Crominância.

Aqui, a subportadora de cor é cancelada, restando na saída deste circuito apenas os sinais (R – y) e (B – y), que são entregues ao circuito de Matiz RGB. Este circuito tem a tarefa de recompor os sinais de cor: R, G e B, partindo de (R – y) e (B – y). Os sinais R, G e B, são então, aplicada nas respectivas grades de controle do cinescópio, para a devida reprodução de cor.

O circuito de MAT gera uma alta-tensão de 26 KV para alimentar o 2º ânodo do cinescópio tricromático e o circuito da Fonte de Alimentação, alimenta todos os estágios do receptor.

Fig. 14-23: Diagrama em blocos de um receptor de TV.



EXPERIÊNCIAS

(A experiência descrita nesta seção pode ser realizada na placa de circuitos descrita no Anexo C ou numa montagem de laboratório similar.)

■ FINALIDADE

Demonstrar a operação de circuitos *RC* básicos e de osciladores de relaxamento.

■ TEORIA

Muitos circuitos em sistemas eletrônicos (incluindo aparelhos de televisão) dependem da relação entre resistência e capacitância para sua operação. Estes *circuitos RC* (resistência-capacitância) são freqüentemente chamados de *circuitos com constante de tempo. Circuitos RL* (resistência-indutância), também usados em sistemas eletrônicos, são também chamados circuitos com constante de tempo.

A Figura 14-24 mostra os circuitos *RC* e *RL* básicos. Na Figura 14-24a, um interruptor, um capacitor e um resistor são ligados sobre uma bateria. Vamos assumir que o capacitor não está carregado.

Quando o interruptor está fechado, uma corrente de carga irá fluir e será responsável pelo carregamento do capacitor. Esta corrente está indicada pelas setas. A tensão sobre o capacitor aumenta com o tempo. Quanto maior a resistência (ou a capacitância), maior será o tempo necessário para carregar o capacitor.

O formato de onda à direita de *C* mostra como a tensão sobre o capacitor varia com o tempo. No instante em que o interruptor está fechado, não há tensão sobre o capacitor, porque o mesmo não está carregado. Conforme a corrente de carga flui, a tensão sobre o capacitor aumenta.

A tensão sobre o resistor é máxima no instante em que o interruptor é fechado. Conforme o capacitor carrega-se, a taxa de fluxo de corrente diminui. Isto faz com que a tensão sobre *R* diminua, conforme a tensão sobre o capacitor aumente.

Quando o capacitor está totalmente carregado, não há mais fluxo algum de corrente de carga, de modo que não há tensão sobre *R*.

Vamos supor agora que o capacitor esteja totalmente carregado e que você deseja descarregá-lo através de um resistor. Esta condição está indicada na Figura 14-24b.

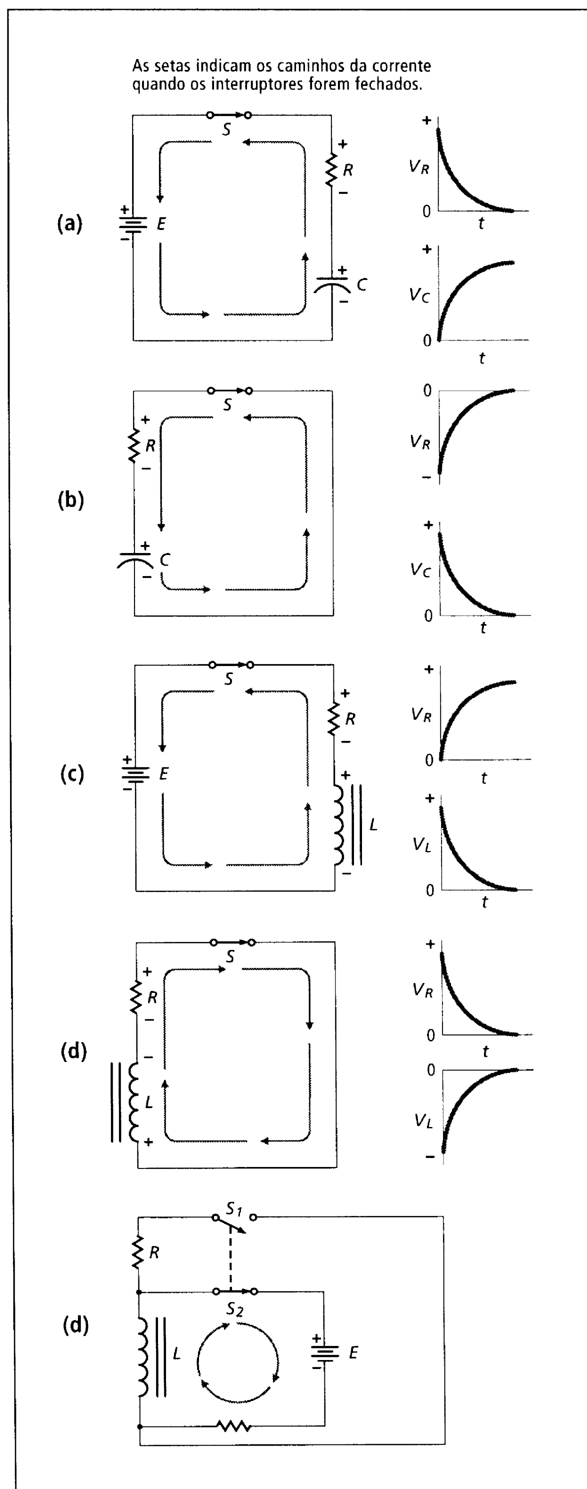


Fig. 14-24: Constantes de tempo em circuitos *RC* e *RL*: (a) carga do capacitor; (b) descarga do capacitor; (c) aumento da corrente do indutor; (d) redução da corrente do indutor; (e) a tensão induzida causa formação de cerco sobre S_2 (vide texto).

O fechamento do interruptor neste circuito permite ao capacitor descarregar-se conforme indicado pelas setas. Conforme o capacitor descarrega-se, a taxa de fluxo de corrente diminui. Isto significa que a tensão negativa sobre o resistor diminui.

Os resistores e indutores possuem também uma relação com a constante de tempo. Porém, não é tão facilmente expressa como no caso dos circuitos *RC*.

A Figura 14-24c mostra um indutor e um resistor em série com uma bateria *E*. No instante em que o interruptor está fechado, a corrente no circuito tende a elevar-se muito rapidamente. Isto causa uma contratensão sobre o indutor. (A contratensão é máxima quando a taxa de mudança da corrente através do indutor é máxima.). O resultado global é que a contratensão impede a corrente de subir rapidamente para seu valor máximo. Em vez disso, a corrente aumenta gradativamente. O aumento da corrente é semelhante ao aumento da tensão sobre o capacitor (vide Figura 14-24a). Conforme a contratensão do indutor diminui, a corrente no circuito aumenta e a tensão sobre o resistor aumenta.

Eventualmente, a tensão contínua sobre o indutor irá cair para 0 volt. Isso acontece porque a única resistência no indutor é causada pela resistência dos enrolamentos. Portanto, a queda de tensão contínua *(I x R)* é muito pequena.

Vamos admitir agora que a corrente máxima esteja fluindo através do indutor e do resistor e que desejamos examinar as condições do circuito se colocarmos um curto sobre o resistor e o indutor instantaneamente. Esta condição está indicada na Figura 14-24d. Observe que a corrente continua a fluir através do indutor e do resistor na mesma direção, porém a uma taxa continuamente decrescente. Depois de um certo tempo, portanto, a corrente através do indutor (e a tensão sobre o mesmo) diminui para zero. Da mesma forma, a corrente através do resistor e a tensão sobre o mesmo diminuem para zero.

Em resumo, tanto os circuitos *RC* como os circuitos *RL* produzem um retardo no tempo necessário para a corrente no circuito atingir seu valor máximo ou seu valor mínimo.

Na Figura 14-24e mostramos um circuito com um indutor e um resistor. Dois interruptores são usados. No circuito indutivo, a energia é armazenada na forma de um campo eletromagnético em volta do indutor. Quando o interruptor S_1 está aberto e o interruptor S_2 está fechado, conforme indicado na ilustração, existe uma corrente através da bobina. Portanto, existe um campo magnético sobre a mesma.

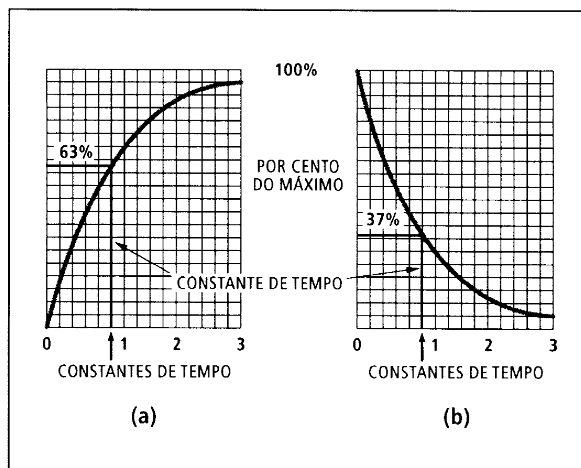


Fig. 14-25: Curvas de constante de tempo: (**a**) curva de carga; (**b**) curva de descarga.

A linha pontilhada entre os interruptores significa que os mesmos são ligados mecanicamente entre si. Quando S_2 se abre, S_1 se fecha. Quando S_1 se fecha, S_2 se abre.

Se você abrir S_2, o campo magnético em volta do indutor desaparecerá. Isso induz uma tensão sobre o indutor e causa um fluxo de corrente através do resistor e de S_1. Esta corrente diminuirá conforme a tensão induzida pelo indutor caia para zero.

O circuito da Figura 14-24e está indicado apenas para referência. Você poderá notar que nenhuma curva característica foi incluída. Existe uma razão muito importante para isso, e você deverá entendê-la como técnico em eletrônica. Quando S_2 for aberto, a corrente através do indutor variará rapidamente. O campo em volta do indutor começará a diminuir muito rapidamente e induzirá uma tensão muito alta sobre a bobina. A tensão induzida será tão elevada que haverá formação de arco sobre S_2. O arco é, de fato, uma corrente que flui entre os contatos abertos. Em outras palavras: você não pode parar instantaneamente o fluxo de corrente num circuito indutivo. Por esta razão, usa-se um circuito especial para evitar a formação de arco elétrico na abertura e no fechamento de interruptores em circuitos indutivos.

Por definição, a *constante de tempo T* de um circuito *RC* é o intervalo de tempo necessário para carregar um capacitor em 63% da tensão aplicada ou para descarregá-lo para 37% de sua tensão inicial. Estes dois pontos estão claramente marcados nas curvas da Figura 14-25. Observe que a curva na Figura 14-25a representa a tensão sobre um capacitor durante a carga.

Você pode ver que, no final de uma constante de tempo, a tensão atingiu 63% da tensão total.

A Figura 14-25b mostra um gráfico da tensão sobre o capacitor durante a descarga do mesmo. A tensão sobre o capacitor cai para 37% do valor total em uma constante de tempo.

O cálculo da constante de tempo é muito simples. Para um circuito *RC*, a constante de tempo em segundos é simplesmente o produto da resistência em ohms pela capacitância em Farads.

$$T = RC$$

Para circuitos indutivos, a constante de tempo pode também ser expressada pela fórmula

$$T = \frac{L}{R}$$

onde L = indutância, em henries
R = resistência, em ohms
T = constante de tempo, em segundos

No final de cinco constantes de tempo, um capacitor é considerado totalmente carregado ou totalmente descarregado.

A Figura 14-26 mostra um circuito *RC* com constante de tempo para ser usado nesta experiência. (Uma fonte de alimentação será usada em vez de uma bateria.) Aqui a resistência é de 50 kilohms e a capacitância, de 250 microfarads. A constante de tempo deste circuito é:

$$T = RC$$
$$= 50.000 \times 0.000250$$
$$= 12{,}5 \text{ segundos}$$

Isto significa que iria levar 12,5 segundos para o capacitor deste circuito carregar-se até 63% da tensão aplicada. No mesmo período de tempo, a queda de tensão sobre o resistor diminuirá para 37% de seu valor máximo. Já que a tensão aplicada é de 10 volts, 63% da tensão aplicada são 6,3 volts e 37% da tensão aplicada são 3,7 volts.

Você poderia observar o resultado da constante de tempo, ligando um voltímetro sobre *R*, na Figura 14-26a. Porém, a maioria dos voltímetros são fabricados colocando um resistor multiplicador R_M em série com um medidor sensível *M*. Isso está indicado na Figura 14-26b. Um valor típico de multiplicador para o aparelho de medição na escala de 10 volts seria 200.000 volts. Se você colocar esta resistência de 200.000 ohms em paralelo com os 50.000 ohms, a resistência paralela seria de apenas de 40.000 ohms. Isso reduzirá a constante de

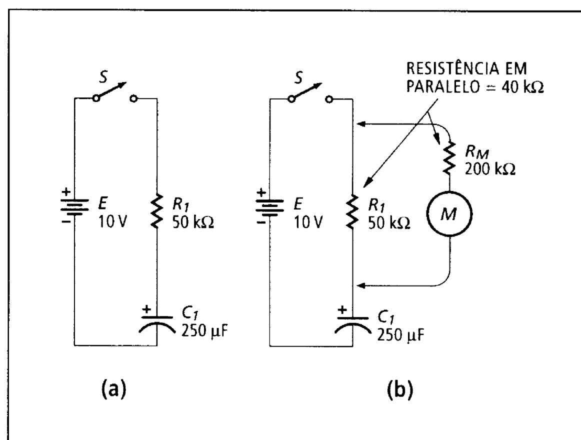


Fig. 14-26: Problema em observar o efeito da constante de tempo: (**a**) o circuito de constante de tempo; (**b**) o medidor reduz a resistência do circuito.

tempo e levará menos tempo para a tensão sobre R_1 cair para 37% da tensão aplicada.

Trataremos agora de algumas aplicações práticas de um circuito com constante de tempo. Você deve lembrar-se que, no sistema de televisão, o sinal de televisão consistia dos pulsos de sincronização tanto vertical como horizontal. É necessário separar estes pulsos no separador de sincronização. Apenas os pulsos de sincronização vertical devem afetar a varredura vertical, e apenas os pulsos de sincronização horizontal devem afetar a varredura horizontal.

Na maioria dos aparelhos de TV, o separador de sincronização consiste de circuitos *RC* simples como aqueles indicados na Figura 14-27. Você poderá considerar estes circuitos como simples filtros.

Os pulsos de sincronização vertical ocorrem a um ritmo de 60 por segundo. Essa é uma freqüência baixa. O *circuito integrador* (vide Figura 14-27) permite a estes pulsos de baixa freqüência passarem; porém, os pulsos de sincronização horizontal são colocados em curto com a terra através do capacitor C_1. Essa é uma explicação simplificada de como o circuito integrador funciona. Sua construção, porém, é baseada no fato de que a constante de tempo de *R*, e *C*, é longo, em comparação com o período de tempo representado pelos pulsos de sincronização horizontal.

Para o *circuito diferenciador*, um pulso abrupto será produzido na borda frontal de cada pulso. Assim, a saída será uma série de pulsos abruptos para os pulsos de sincronização horizontal e vertical serrilhados. Todos eles são usados para manter a freqüência do oscilador de varredura horizontal em 15.750 hertz.

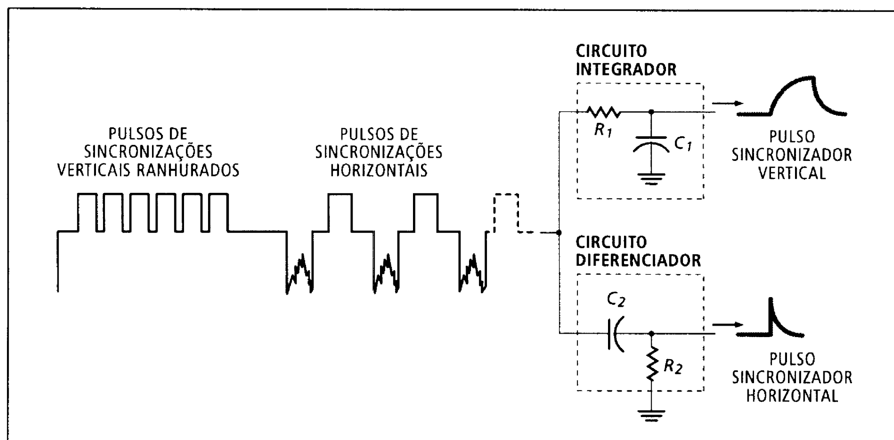


Fig. 14-27: Aplicação do circuito *RC*.

A saída do circuito integrador passa para o oscilador vertical e controla sua freqüência, de modo que haja 60 campos por segundo. A saída do circuito diferenciador horizontal passa para o oscilador horizontal e controla sua freqüência, de modo que há 15.750 linhas de varredura geradas a cada segundo.

A Figura 14-28 mostra uma outra aplicação de um circuito *RC*. Este é o circuito para um *oscilador de neon*, e utiliza um circuito *RC* para determinar sua freqüência.

Quando a freqüência de um oscilador é controlada por um circuito *RC* ou por um circuito *RL*, é chamado de *oscilador de relaxamento*.

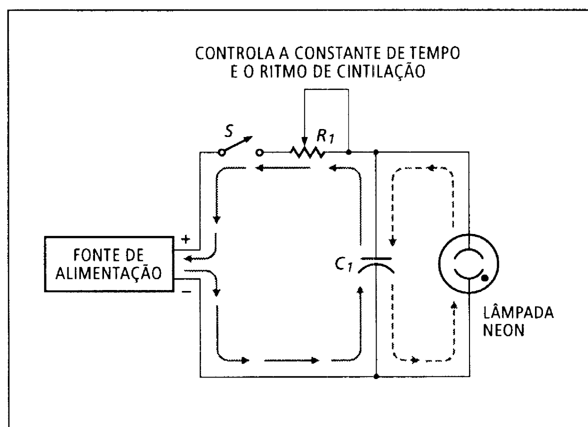


Fig. 14-28: Um oscilador de neon.

Quando o interruptor *S* é fechado, o capacitor *C* começa a carregar-se através de R_1 (setas cheias). A lâmpada neon não pode conduzir até que atinja um certo valor mínimo chamado de *potencial de disparo*.

Já que a tensão sobre o capacitor é muito baixa no instante em que o interruptor é fechado, a lâmpada neon estará desligada e nenhuma corrente pode fluir através da mesma.

Quando a tensão sobre o capacitor atingir o potencial de disparo da lâmpada neon, a mesma começará a conduzir. Isso será indicado pelo brilho da lâmpada. Seu valor de resistência é menor quando ela brilha e o capacitor é descarregado. O caminho da corrente de descarga está indicado pelas setas pontilhadas. Depois de o capacitor ter-se descarregado até um valor mais baixo da tensão, a lâmpada desliga-se e o capacitor começa novamente a carregar-se. O resultado global é que a lâmpada neon pisca a um ritmo que depende da constante de tempo de R_1 e C_1. O oscilador de relaxamento simples indicado na Figura 14-28 é, às vezes, usado como pisca-pisca de estrada. A lâmpada neon, neste caso, é muito grande.

O *multivibrador* indicado na Figura 14-29 é um oscilador de relaxamento muito importante. O princípio de sua operação está baseado no fato de que existem dois transistores e que cada um controla a condução do outro. Em outras palavras, quando X_1 está conduzindo, X_2 está desligado, e quando X_2 está conduzindo, X_1 está desligado. Cada um deles conduz durante um curto período de tempo produzindo assim a oscilação.

O período de tempo em que cada transistor está conduzindo depende da constante de tempo dos dois circuitos *RC*. Um circuito *RC* é R_1, R_2 R_3 e C_1. O outro circuito com constante de tempo é R_4, R_5, R_6, e C_2. Já que a constante de tempo destes dois circuitos determina durante quanto tempo cada transistor está conduzindo, eles controlam a freqüência de oscilação. Alterar a constante de tempo de um ou de ambos os circuitos, irá alterar a freqüência de oscilação do circuito. Multivibradores são freqüentemente usados para gerar sinais de varredura vertical e horizontal em receptores de televisão.

Nesta experiência, você irá ligar um simples circuito de constante de tempo e traçar uma curva de constante de tempo. Você também irá ligar um multivibrador e mostrar que a freqüência de oscilação depende da constante de tempo do circuito *RC*.

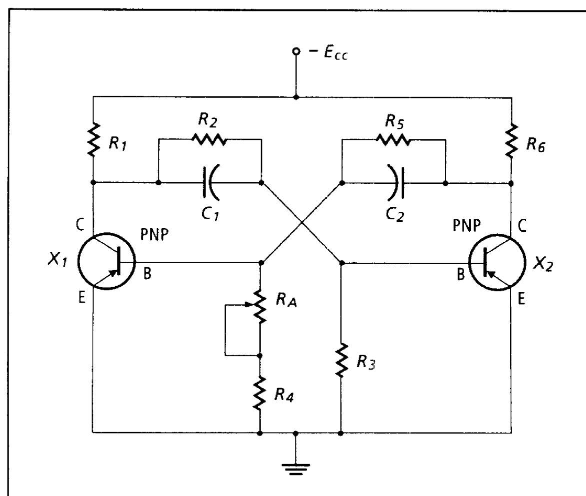


Fig. 14-29: Um circuito multivibrador.

PRIMEIRA PARTE

■ MONTAGEM DO TESTE

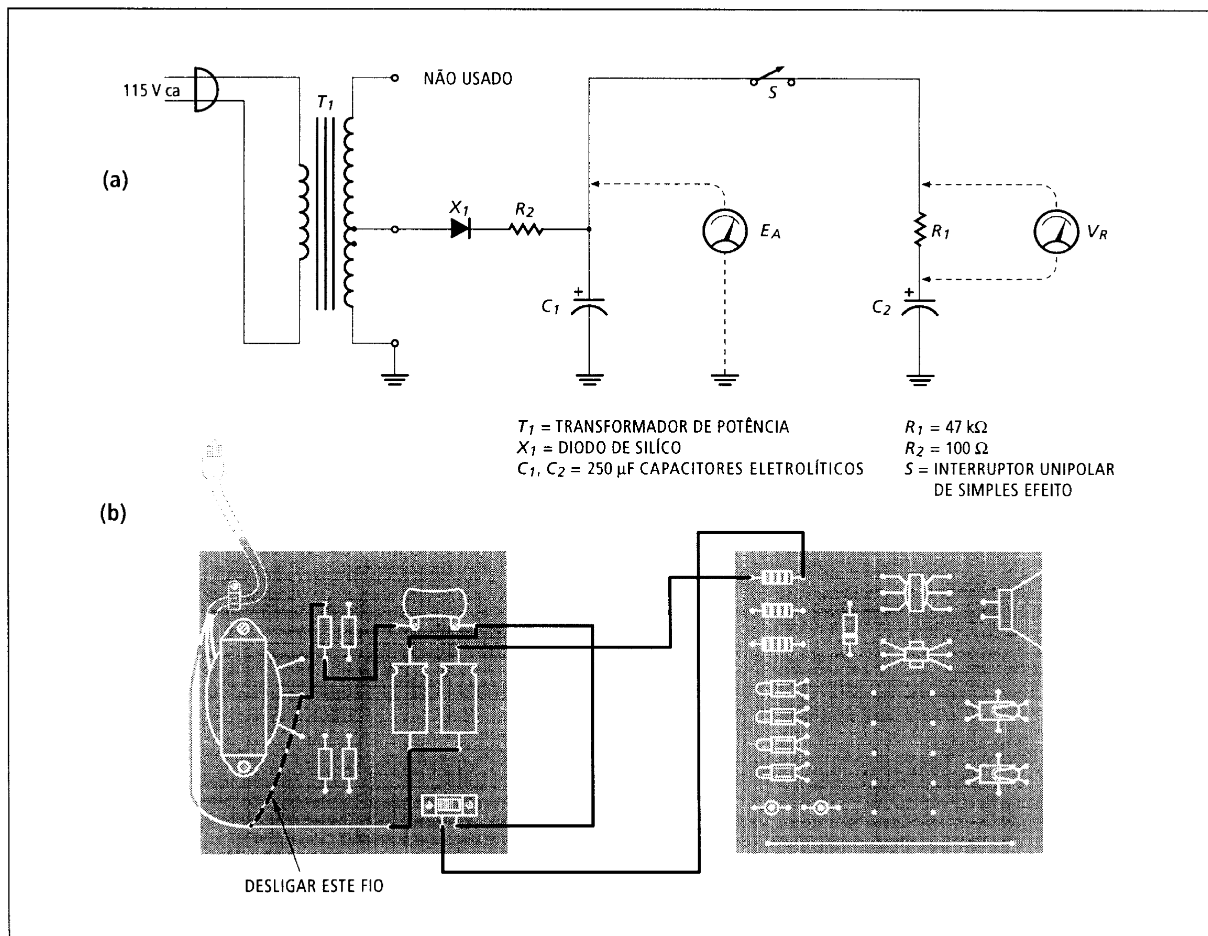
Realizar as ligações do circuito indicadas na Figura 14-30. A Figura 14-30a mostra o diagrama esquemático e a Figura 14-30b mostra o diagrama chapeado. Já que o medidor está em paralelo com o resistor R_1, a resistência do circuito deverá ser inferior a 47 kilohms. A resistência atual depende da resistência do voltímetro.

■ PROCEDIMENTO

☐ *Etapa 1:* Medir a tensão da fonte de alimentação e anotar o valor.

E_A = ... **volts ca**

Fig. 14-30: Montagem para constate de tempo: (a) diagrama esquemático; (b) diagrama chapeado.



☐ *Etapa 2:* A tensão sobre o resistor cairá para 0,37 vezes a tensão da fonte de alimentação, quando o interruptor estiver fechado. Quanto são 0,37 vezes o valor da tensão que você mediu na Etapa 1?

$0,37 \times E_A =$ .... **volts**

☐ *Etapa 3:* Certifique-se de que o interruptor do circuito está aberto. Por apenas um instante ligue o instrumento sobre o capacitor para certificar-se de que a tensão sobre a capacitância seja 0 volt.

☐ *Etapa 4:* Feche o circuito e anote a tensão sobre o resistor V_R a intervalos de 10 segundos. Anote suas leituras de tensão na Tabela 14-2.

☐ *Etapa 5:* Usando os valores da Tabela 14-2, desenhe um gráfico mostrando a tensão sobre R_l em função do tempo. Seu gráfico deve ser parecido com aquele indicado na Figura 14-31.

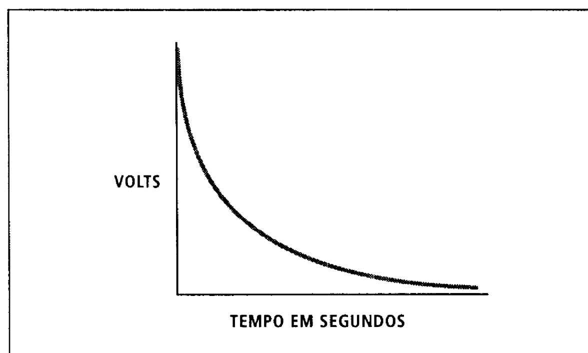
Tempo (em segundos)	Tensão (em volts)
0	
10	
20	
30	
40	
50	
60	
70	
80	
90	
100	

Tabela 14-2

☐ *Etapa 6:* No gráfico que você desenhou, determinar quanto tempo demora para a tensão cair para 37% da tensão aplicada. Anotar o valor. (A tensão que você encontrou na Etapa 2 é 37% da tensão aplicada.)

....

Fig. 14-31: Sua curva de constante de tempo deve ser parecida com a curva anexa.



☐ *Etapa 7:* Calcular a constante de tempo para o circuito.

$$T = RC$$
$$= 47.000 \times 0,000250$$
$$= 11,75 \text{ segundos}$$

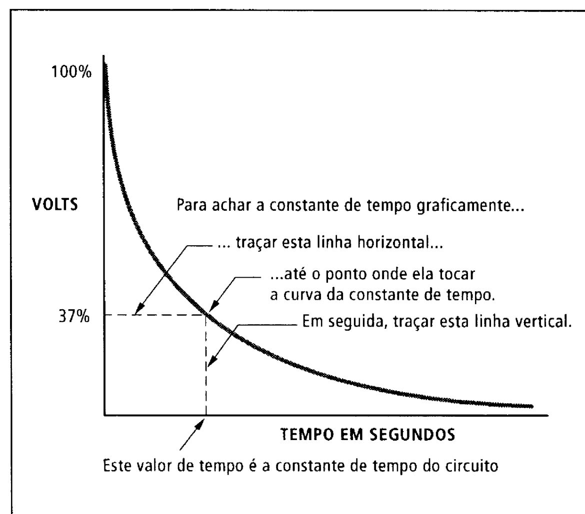
☐ *Etapa 8:* Determinar a constante de tempo do circuito a partir do gráfico desenhado na Etapa 5. Para isto, desenhar uma linha horizontal a partir do ponto que está a 0,37 vezes a tensão máxima. A partir do ponto onde esta tensão encontra a curva, desenhar uma linha vertical até o valor de tempo. O procedimento está indicado na Figura 14-32. Use os valores de tensão e de tempo da Tabela 14-2.

☐ *Etapa 9:* O valor da constante de tempo obtido pelo gráfico é igual ao valor da constante de tempo calculado na Etapa 7?

.... **Sim ou Não**

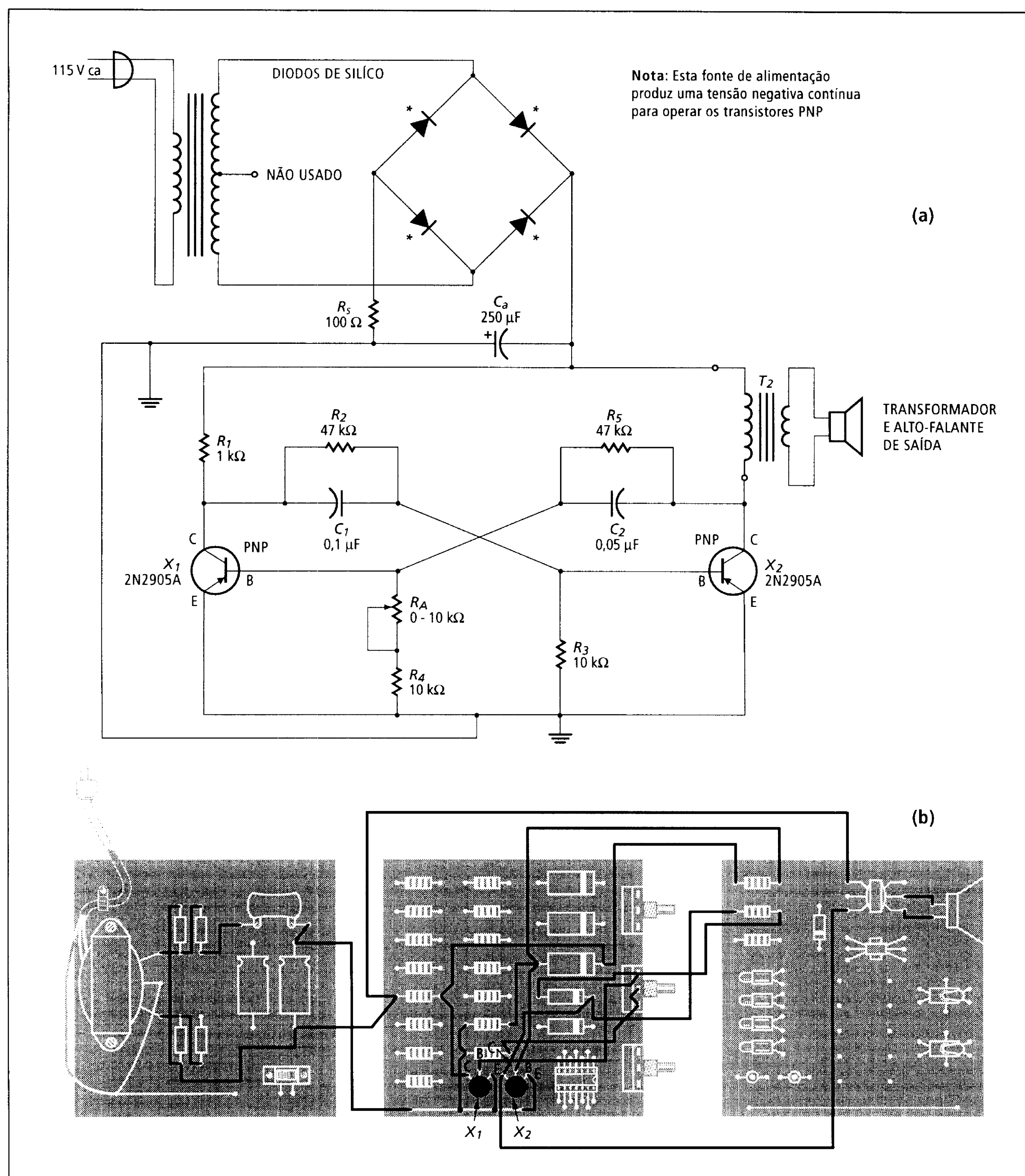
O valor da constante de tempo obtido graficamente pode ser inferior ao valor calculado. Lembre-se que se dois resistores forem ligados em paralelo, a resistência equivalente será sempre inferior à resistência de menor valor. Portanto, você deve ter menos que 47.000 ohms quando o voltímetro estiver ligado sobre o resistor de 47 kilohms. Porém, lembre-se que tanto o resistor R_l como o capacitor C_2 têm tolerância e serão

Fig. 14-32: Método gráfico para determinar a constante de tempo.



diferentes dos valores indicados. De modo que você não pode predizer o valor gráfico da constante de tempo, mas pode obtê-lo a partir de seu gráfico (Figura 14-32).

Fig. 14-33: Montagem do teste para a experiência com multivibrador: (**a**) diagrama esquemático; (**b**) diagrama chapeado.



SEGUNDA PARTE

■ MONTAGEM DO TESTE

O circuito está indicado na Figura 14-33. O diagrama esquemático está indicado na Figura 14-33a e o diagrama chapeado está indicado na Figura 14-33b. Observe que este circuito é diferente do circuito multivibrador da Figura 14-29 por causa do alto-falante no lugar do resistor R_6. O oscilador de relaxamento operará o alto-falante, porém não produzirá um volume alto.

■ PROCEDIMENTO

☐ *Etapa 1:* Realizar as ligações do circuito da Figura 14-24.

☐ *Etapa 2:* Aplicar a tensão.

☐ *Etapa 3:* Escutar cuidadosamente o tom no alto-falante. Em sua opinião, este tom corresponde a uma alta, média ou baixa freqüência?

☐ *Etapa 4:* Ajustar o resistor R_A enquanto estiver escutando a freqüência no alto-falante. A freqüência muda?

.... **Sim ou Não**

Quando você altera o valor da resistência, a freqüência do tom deve mudar. O valor de R_A afeta a constante de tempo. Esta experiência mostra que a constante de tempo *RC* afeta a freqüência de oscilação.

■ CONCLUSÃO

Na primeira parte desta experiência, você demonstrou que a constante de tempo de um circuito *RC* pode ser determinada graficamente. Porém, neste caso, a constante de tempo do circuito deve ser muito longa, de modo que você tem tempo suficiente para efetuar medições precisas.

Você aprendeu na segunda parte, que os circuitos *RC* com constante de tempo podem ser usados num oscilador, e que a freqüência de oscilação depende diretamente da constante de tempo *RC*.

Estas não são as únicas aplicações em eletrônica onde você encontrará circuitos com constante de tempo, porém estes são dois exemplos muito populares.

Gravadores de Vídeo-Cassete

A gravação e reprodução de vídeo seguem praticamente a mesma rotina da gravação de áudio. Tecnicamente, a tarefa se torna mais complicada. O primeiro problema se dá por causa da faixa de freqüências muito larga dos sinais de vídeo (de 0 a 4,2 Mhz). Em seguida, vem o problema da alta-freqüência dos sinais de vídeo, que chegam até 4,2 Mhz.

A necessidade de alta-precisão na gravação e reprodução de todos os sinais que compõem o sinal de vídeo, é responsável por mais um problema: garantir que a operação mecânica seja compatível com o processo eletro-eletrônico envolvido.

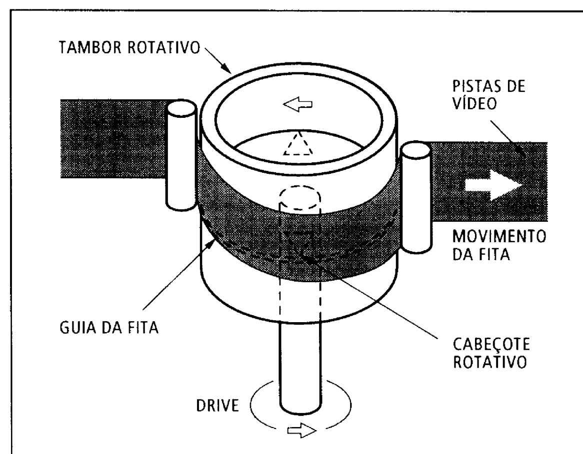
Gravação de Vídeo

A alta-frequência dos sinais de vídeo exige a utilização de uma cabeça de gravação diminuta e construída especialmente para essa finalidade. Além disso, a velocidade com que a fita deve passar pelo cabeçote é muito grande.

Para aumentar a velocidade de passagem da fita pelo cabeçote de vídeo, este é fixado a um tambor rotativo designado "cilindro", de modo a girar em sentido contrário ao movimento da fita. A velocidade relativa se torna grande à ponto de atingir àquela necessária para gravação de alta-freqüência.

A Figura 14-34 mostra como é construído o tambor rotativo e como a fita passa pelo cabeçote de gravação. Observe que há dois cabeçotes no tambor.

Fig. 14-34: Construção do cilindro rotativo e a passagem da fita, pelo cabeçote de vídeo.



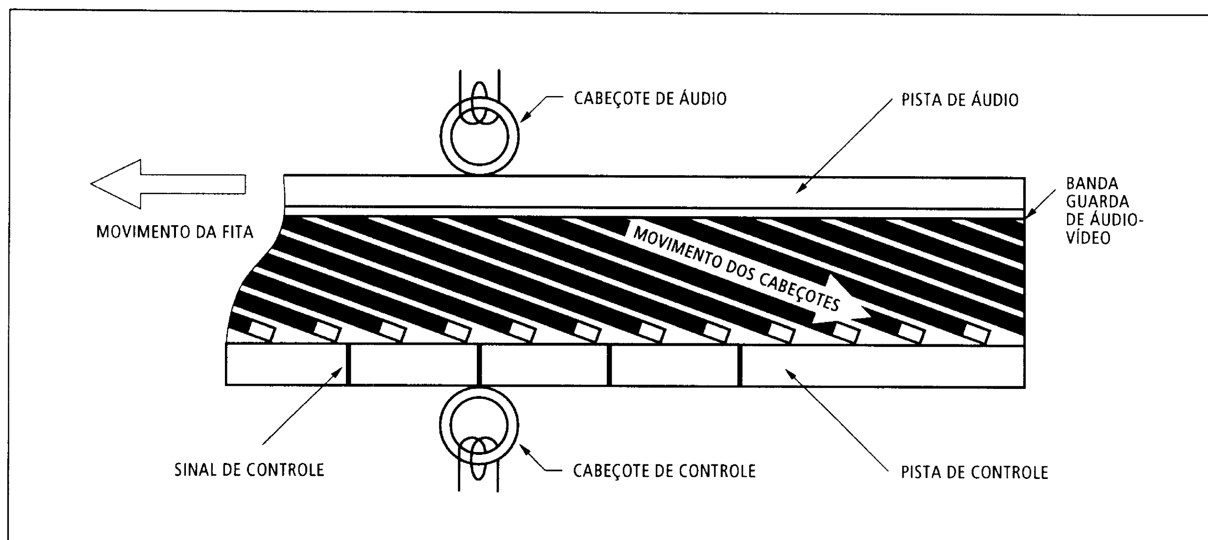


Fig. 14-35: Gravação dos campos de imagem na fita de vídeo.

Os modernos aparelhos de vídeo-cassete VHS empregam 2 ou 4 cabeçotes para gravação e reprodução de vídeo. Atualmente existem aparelhos que empregam 6 e 8 cabeças. No atual sistema de vídeo-cassete VHS, a fita é gravada em pistas independentes, na forma de pequenas tiras conforme é visto na Figura 14-35.

Cada pista contém a gravação de um campo inteiro de imagem, incluindo os sinais de luminância, crominância, sincronismo vertical e horizontal, apagadores e sincronismo de cor. Os sinais de áudio e controle são gravados em pistas separadas nas arestas laterais da fita, conforme é visto na Figura 14-35.

A Figura 14-36 mostra o ângulo da fita, em relação aos cabeçotes e a atuação destes, sobre as pistas de gravação.

Como o sistema atual de TV emprega 60 campos de imagem por segundo então, devem ser gravadas na fita, 60 pistas por segundo – já que, cada pista corresponde a um campo de imagem.

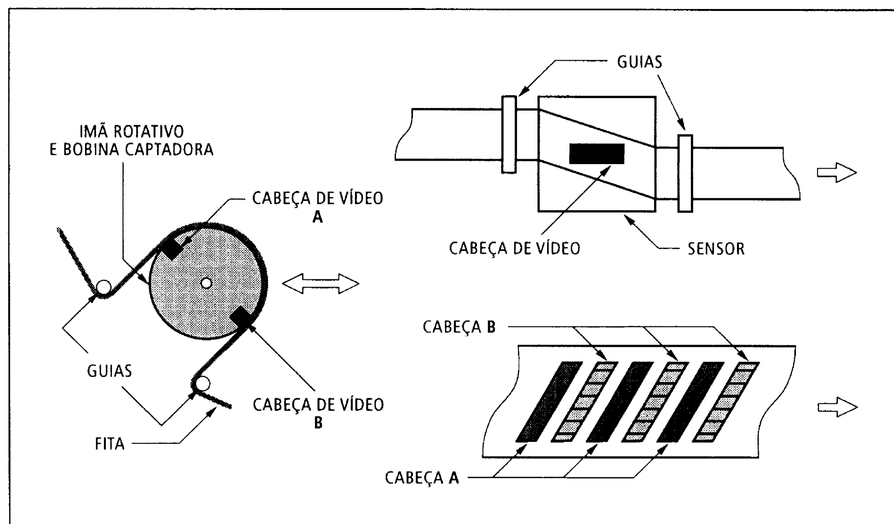


Fig. 14-36: Ângulo de passagem da fita pelos cabeçotes A e B e gravação das pistas de vídeo.

Chamando-se os cabeçotes de "A" e "B", e estando cada um situado no cilindro a 180° de distância, o tempo de passagem da fita permite que cada um deles, grave ou reproduza uma pista de cada vez e de forma alternada. Veja a Figura 14-36.

Sistema de Controle

Para possibilitar gravação e reprodução perfeitas de imagem, é necessário um controle eficiente e preciso de todo o sistema elétrico e mecânico. Daí, o emprego de

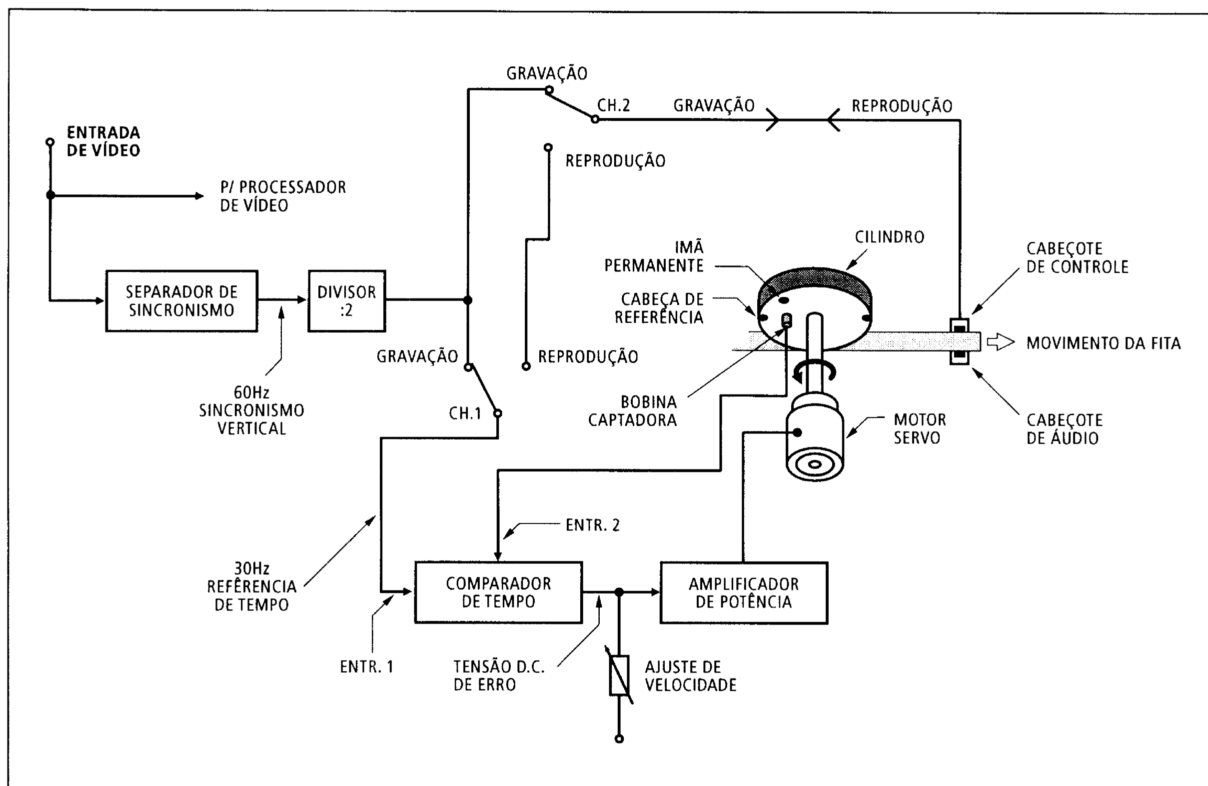


Fig. 14-37: Sistema de controle por servo-mecanismo.

um sistema de servo-mecanismo, conforme pode ser visto na Figura 14-37.

Quando em posição de "gravação" o sinal de sincronismo vertical extraído do separador de sincronismo, é aplicado a um circuito de divisão por dois.

Um sinal de referência de 30 Hz resultante é aplicado ao comparador de tempo.

Próximo a um dos cabeçotes de gravação – chamado, "cabeçote de referência", e embaixo do cilindro se encontra agregado um pequeno imã permanente. Este imã gira com os cabeçotes e ao passar próximo a uma bobina captadora, gera nesta, uma tensão pulsante com freqüência de 30 Hz – já que o imã passa pela bobina captadora, uma vez, a cada giro de 360° do cilindro (1/30 de segundo).

Os pulsos gerados pela bobina captadora são gravados na pista de controle da fita de vídeo e são aplicados na segunda entrada do comparador de tempo.

Este sinal realimentado é comparado aqui, com o sinal de 30 Hz, vindo do divisor.

Quando o pulso gerado pela bobina captadora aparece no mesmo tempo do pulso de sincronismo de 30Hz vindo do divisor por 2, a tensão D.C. de erro que sai do comparador de tempo será igual a zero. Nesta condição, o motor-servo gira a uma velocidade considerada "certa".

Quando a velocidade do motor-servo sofre qualquer alteração mecânica entre cilindro e fita ou o sincronismo vertical é alterado na imagem, ocorre também uma alteração por causa do tempo entre pulso de sincronismo de 30 Hz e pulso realimentado.

A tensão D.C. que sai do comparador de tempo, agora, tem valor positivo ou negativo para ser aplicado ao amplificador de potência que alimenta o motor-servo.

Essa tensão D.C. de erro corrige a diferença de tempo entre os dois pulsos e faz com que o motor-servo funcione em velocidade correta.

Com ch-1 e ch-2 na posição de reprodução, são os pulsos de 30 Hz que foram gravados na fita que aparecem na entrada 1 do comparador de tempo. Na entrada 2 são aplicados os mesmos pulsos gerados na bobina captadora, e a tensão D.C. de erro tem valor próprio para corrigir qualquer alteração na velocidade do motor-servo.

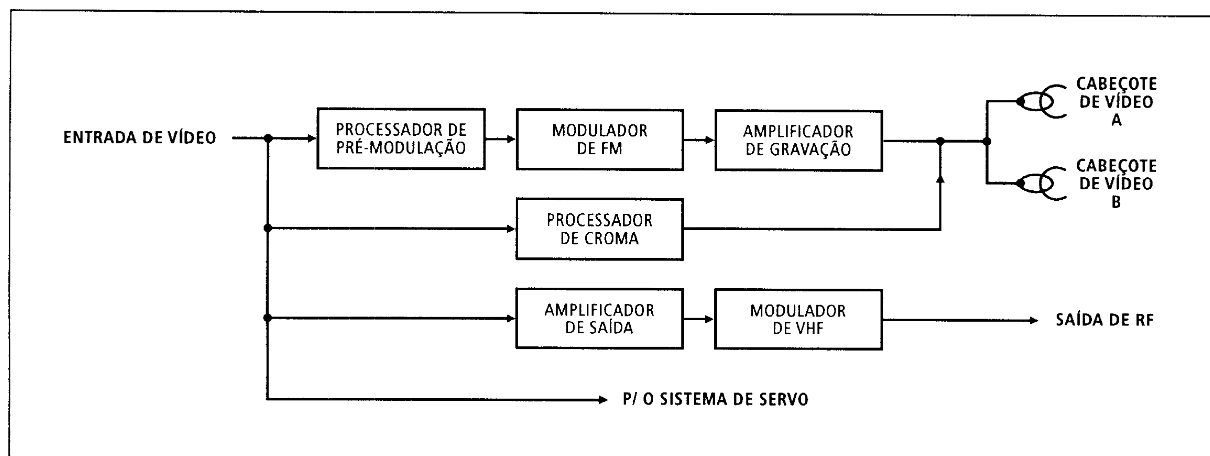


Fig. 14-38: Diagrama em blocos básico para gravação de luminância.

Gravação

Devido aos problemas próprios da larga faixa de freqüências, alta-freqüência e diferenças de modulação entre luminância e crominância, torna-se necessário, um tratamento especial para os sinais de vídeo, antes da gravação.

Os sinais de luminância deverão modular uma portadora em FM, antes da gravação.

Os sinais de crominância passam por um processo de batimento – com uma queda resultante na faixa de freqüências, antes da gravação.

A Figura 14-38 mostra um diagrama de blocos básico do processo de gravação de luminância.

O sinal de vídeo a ser gravado é aplicado, simultaneamente, em quatro circuitos: processador de pré-modulação, processador de croma, amplificador de saída de RF e servo.

No bloco processador de pré-modulação, o sinal de luminância é separado do sinal de crominância pela utilização de filtros. Após esse processo, o sinal de luminância modula em freqüência (FM) uma portadora gerada no próprio circuito. Daí, o sinal de FM de luminância é aplicado a um amplificador de gravação e em seguida, aos cabeçotes A e B.

O amplificador de saída amplifica o sinal de vídeo, deixando o mesmo com amplitude suficiente para modular uma portadora de VHF (geralmente, na freqüência do canal 3 ou 4). A portadora de VHF modulada é aplicada na entrada da antena de um televisor que serve de monitor durante a gravação.

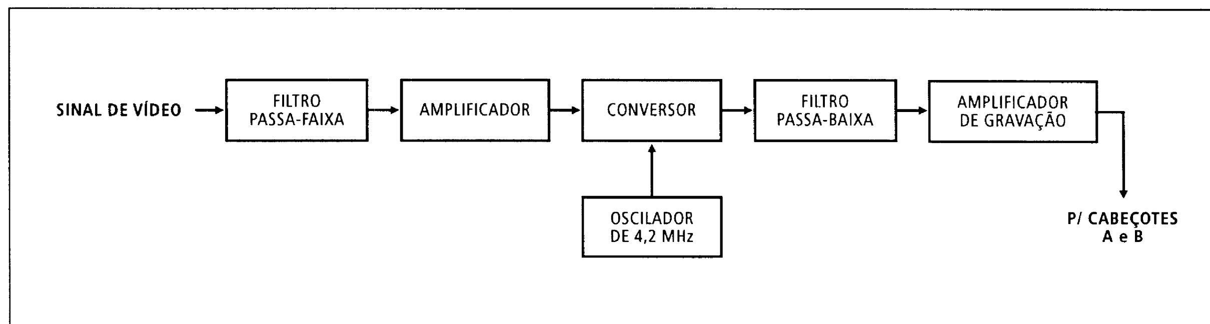
A Figura 14-39 mostra um diagrama de blocos básico do processador de crominância durante a gravação.

Um filtro passa-faixa faz passar para o bloco amplificador somente a faixa de freqüências do sinal de croma – evitando a passagem dos sinais de luminância.

Do estágio amplificador, o sinal de crominância é aplicado a um conversor.

O "batimento" do sinal de crominância, com o sinal de 4,2 Mhz que vem do oscilador, produz uma

Fig. 14-39: Diagrama de blocos básico do processador de crominância.



resultante de 629 KHz, juntamente com outras freqüências, que são eliminadas pelo filtro passa-baixa. A freqüência de 629 KHz contém todas as freqüências de croma necessárias à gravação. Este sinal é aplicado às cabeças A e B de vídeo, pelo amplificador de gravação de croma.

Circuito de Reprodução de Vídeo

A Figura 14-40 mostra um diagrama de blocos básico para reprodução do sinal de luminância. O sinal de vídeo lido na fita sofre uma leitura alternada dos cabeçotes A e B. Uma chave eletrônica é movida na velocidade de 60 vezes por segundo, de modo a escolher alternadamente cada respectivo sinal dos cabeçotes.

Na saída da chave eletrônica, aparecem juntos, os sinais de luminância e crominância. Um filtro passa-faixa na entrada do processador de croma, não permite a passagem dos sinais de luminância. O sinal de croma (ou crominância) tomado na saída do processador de croma é aplicado a um amplificador e em seguida, ao modulador de VHF para ser entregue ao televisor que serve de monitor.

Um circuito limitador não permite que qualquer variação na amplitude do sinal de FM de luminância, chegue até o demodulador de FM. Depois de demodulado por este circuito, a portadora de FM, que carrega o sinal de luminância, desaparece, deixando o sinal modulador (luminância) em perfeitas condições para ser aplicado ao amplificador de saída e depois, ao modulador de VHF. Na saída deste circuito, estão presentes todos os sinais que compõem o sinal da imagem colorida que foi gravada na fita de vídeo VHS.

AUTOTESTE COM RESPOSTAS

(As respostas com discussões encontram-se no final do capítulo / pág. 338.)

1. Aqui estão duas equações para determinação da constante de tempo:

(I) $T = RC$

(II) $T = \frac{L}{R}$

Qual das seguintes afirmações é correta com relação a estas equações?

(a) ambas as equações estão erradas;

(b) apenas a equação I é correta;

(c) apenas a equação II é correta;

(d) ambas as equações são corretas.

2. Qual dos seguintes nomes é correto para um oscilador que depende de uma constante de tempo para sua operação?

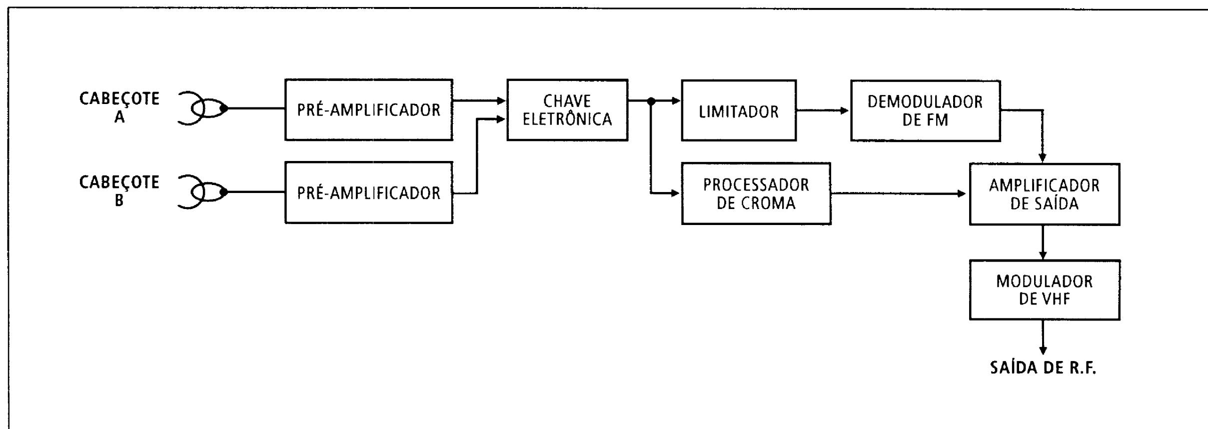
(a) Pierce;

(b) Armstrong;

(c) cristal;

(d) relaxamento.

Fig. 14-40: Diagrama de blocos básico para reprodução do sinal de vídeo.



3. Qual das seguintes freqüências é a mais alta?

(a) freqüência de campo;

(b) freqüência de quadro.

4 A área retangular iluminada no tubo de imagem do receptor é chamada de:

(a) controle automático de ganho;

(b) repouso;

(c) reflexo;

(d) rastro.

5. A diferença entre a freqüência portadora de imagem e a freqüência portadora de som é de:

(a) 4,5 megahertz;

(b) 3,58 megahertz;

(c) 10,9 megahertz;

(d) 455 kilohertz.

6. Um certo circuito com controle automático de ganho possui um estágio que permite que apenas aos pulsos de sincronização sejam usados para gerar a tensão contínua de controle automático de ganho. Este estágio é chamado de:

(a) um circuito ressonante de controle automático de ganho;

(b) um circuito trion de controle automático de ganho;

(c) um circuito de controle automático de ganho tipo chaveado;

(d) um circuito de controle automático de ganho tipo retardado.

7. A seção do receptor que permite selecionar apenas uma estação é:

(a) o sintonizador;

(b) o detector;

(c) o amplificador de vídeo;

(d) o retrator.

8. O tipo de fonte de alimentação de tensão em televisão que depende da operação do estágio de saída horizontal é chamado de:

(a) retificador de ponte;

(b) duplicador;

(c) fonte de alimentação de alta tensão;

(d) fonte de meia-onda.

9. O número de linhas horizontais geradas num receptor de TV a cada segundo é:

(a) 60;

(b) 30;

(c) 15.750;

(d) 262,5.

10. A parte do sinal de TV que causa a retraçagem vertical do tubo de raios catódicos do receptor é:

(a) o pulso de aparamento;

(b) o pulso de sincronismo vertical;

(c) o subportador;

(d) o sinal de vídeo.

RESPOSTAS PARA O AUTOTESTE

1. (d)

2. (d) - Os osciladores Pierce, Armstrong e o cristal são todos formas de geradores de ondas senoidais. Um oscilador de relaxamento gera uma onda não-senoidal. Conforme explicado neste capítulo, um oscilador de relaxamento usa um circuito *RC* ou um circuito *RL*.

3. (a) - Já que existem dois campos por quadro, a freqüência do campo é duas vezes a freqüência do quadro.

4. (d)

5. (a) - É esta diferença de freqüência de 4,5 megahertz que é usada para a freqüência intermediária de som.

6. (c) - Um sistema de controle automático de ganho do tipo retardado é um sistema no qual não há qualquer tensão de controle automático de ganho para sinais muito fracos. Qualquer tipo de circuito de controle automático de ganho pode produzir isto.

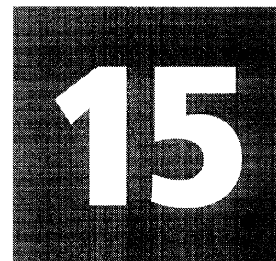
7. (a)

8. (c) - Retificadores de ponte e duplicadores de tensão são usados em fontes de alimentação de baixa tensão assim como fontes de meia-onda.

9. (c)

10. (b) - O pulso de sincronismo vertical é localizado acima do pulso de aparamento vertical.

Quais são os circuitos lógicos básicos usados em computadores e eletrônica industrial?



INTRODUÇÃO

Desde a idade de ouro da Grécia, os filósofos tentaram inventar sistemas lógicos que lhes permitissem raciocinar num método passo-a-passo. Os primeiros filósofos gregos estabeleceram as regras básicas relacionadas com os *silogismos* – uma forma de argumento lógico em três etapas. Um silogismo consiste da proposição principal chamada de *premissa maior*, uma proposição acerca da premissa maior, chamada de *premissa menor* e uma *conclusão*. Na sua forma mais simples, um silogismo parece algo assim :

Todos os homens são mortais	(Premissa maior)
Sócrates é um homem	(Premissa menor)
Portanto, Sócrates é mortal	(Conclusão)

Ao longo dos anos, os filósofos desenvolveram este sistema lógico até um grau de refinamento muito alto. No começo do século 18, as regras para a lógica formal (da qual o silogismo é um exemplo) eram bastante bem estabelecidas.

Houve sempre um problema de linguagem na tentativa de se chegar a uma conclusão por meio da lógica formal. A linguagem torna difícil expressar as premissas maiores e as premissas menores que são relacionadas entre si e que estão certas. A maior parte do problema reside no fato de que muitas palavras têm duplo sentido. Um outro problema é que existem palavras para as quais não existe significado bem claro. Quando estas palavras são usadas em lógica formal, as conclusões podem ser válidas, de acordo com as regras, porém, podem ao mesmo tempo, não ter relação alguma com o mundo físico real.

Em 1854, George Boole imprimiu uma brochura que tentava contornar o problema da linguagem na lógica formal. Sua idéia era a de eliminar as armadilhas do significado das palavras e das palavras emocionais que tornam difícil seguir os argumentos. Boole inventou um método para reduzir as proposições lógicas em símbolos muito parecidos com os símbolos matemáticos.

Quando as proposições são reduzidas a símbolos, pode-se, por meio de um simples procedimento matemático, chegar a uma conclusão correta (ou incorreta).

As leis da álgebra booleana foram grandemente expandidas e aperfeiçoadas desde sua primeira introdução pôr Boole. No estudo da eletrônica, a álgebra booleana é usada para projetar circuitos liga/desliga e circuitos lógicos. Um estudo completo da álgebra booleana é um trabalho exaustivo e não pode, de forma alguma, ser discutido num único capítulo. Porém, iremos apresentar alguns circuitos básicos e mostrar como eles podem ser usados em combinações. Os sinais de saída destes circuitos serão identificados com símbolos de álgebra booleana.

Depois de estudar este capítulo, você poderá responder às seguintes perguntas:

- **Cite alguns exemplos de sistemas de numeração.**
- **O que são circuitos lógicos?**
- **O que são circuitos NÃO?**
- **O que são circuitos OU?**
- **O que são circuitos NOU?**
- **O que são circuitos NE?**
- **O que são circuitos *flip-flops?***

INSTRUÇÕES

Alguns exemplos de Sistemas de Numeração

Quando criança, você aprendeu a contar por 10. Em outras palavras, seu sistema de contagem tem 10 dígitos. Vão de 0 a 9. Este sistema de contagem, provavelmente, se desenvolveu porque você tem 10 dedos e 10 artelhos.

É possível contar em outros sistemas de numeração com outra base que não seja 10. Você já está familiarizado com um sistema chamado *duodecimal*. Neste sistema você conta por 12, em vez de contar por 10. Este sistema pode ter-se desenvolvido como resultado do fato de que existem cerca de 12 luas cheias pôr ano. Temos, ainda, traços do sistema duodecimal em nossa civilização. Para nosso método de marcar o tempo, o relógio está dividido em dois períodos de 12 horas pôr dia. Existem 60 minutos em uma hora (5 vezes 12) e 60 segundos num minuto (mais uma vez, 5 vezes 12).

Se você aprendeu a contar por 12, o sistema duodecimal parece ser bastante conveniente. Porém, uma vez que você está treinado no sistema decimal, o sistema duodecimal parece difícil de manipular. Por exemplo, se você quiser saber o número de minutos e segundos entre 15:50 e 7:30 horas, não é uma tarefa simples de colocar um número acima do outro e subtrair.

Você pode usar qualquer número como base para um sistema de numeração. Em eletrônica o sistema de numeração lógica usado tem apenas dois dígitos (base 2). A razão para isto é que a maioria dos transdutores em componentes eletrônicos são capazes apenas de produzir duas saídas distintas. Uma chave está em LIGA ou em DESLIGA. Um transistor está *conduzindo* ou *desligado*. Um capacitor está *carregado* ou *descarregado*. Um diodo tem *polarização direta* ou *reversa*. Existem muitos exemplos de componentes com duas saídas (ou *estados*) distintas. Não há dúvida que você poderia citar muitos outros exemplos. Um componente com dois estados distintos pode ser usado para contagem. É muito mais difícil obter componentes que possuam 10 saídas distintas para uso com o sistema decimal.

O sistema de numeração baseado em apenas dois símbolos é chamado de *sistema binário*. Uma vez que grande parte dos sistemas lógicos e dos sistemas de controle são baseados no sistema binário, iremos dar uma rápida explicação sobre este sistema de contagem.

Como contar com Números Binários?

No sistema decimal – isto é, o sistema de contar por 10 – você usa 10 dígitos para representar os números. Em outras palavras, o sistema decimal possui uma base 10. Estes dígitos vão de 0 até 9. Quando você atinge o número 9, você usou todos os dígitos. Para ir um número acima, você deve começar a utilizar os dígitos em combinações. Assim, 10 é representado por 1 e 0, 11 por 1 e 1, e assim por diante. Quando você atingir o número 99, terá utilizado todas as combinações possíveis de dois dígitos e é necessário usar três dígitos em combinações para números acima de 99.

Para contar no sistema binário você tem apenas dois símbolos para representar os números. Estes símbolos são 0 e 1. Depois de atingido o número 1 na contagem binária, é necessário começar a usar o 0 e o 1 em combinações. Para ver como isto é feito, refira-se à Tabela 15-1. Nesta tabela, você irá encontrar os números decimais de 0 a 16. Você já está familiarizado com este sistema de numeração. No sistema de numeração binária, você pode contar 0 e 1. Porém, para ir acima de 1, você deve começar a usar os dois símbolos em combinações. Da mesma forma, quando você atinge o número binário para 4 (100) e o número binário para 8 (1000), você deve novamente acrescentar um dígito.

Número Decimal	Número Binário	Número Octal
0	0	0
1	1	1
2	10	2
3	11	3
4	100	4
5	101	5
6	110	6
7	111	7
8	1000	10
9	1001	11
10	1010	12
11	1011	13
12	1100	14
13	1101	15
14	1110	16
15	1111	17
16	10000	20

Tabela 15-1: Comparação entre sistemas de numeração

Para comparação, o sistema de numeração octal que possui 8 símbolos está também indicado na Tabela 15-1. No sistema octal, depois de você atingir o número 7, deve começar a usar os símbolos em combinação.

Da Tabela 15-1, pode ser visto claramente que serão necessários muito mais dígitos para representar números binários grandes do que os que são necessários para representar números grandes no sistema decimal. Apesar disto, o sistema de numeração binária é muito mais conveniente para uso em sistemas de controle e em computadores. Conforme mencionado anteriormente,

isto acontece por causa do grande número de componentes que estão facilmente disponíveis com dois níveis distintos de operação. A Figura 15-1 ilustra alguns componentes usados para produzir sinais binários. Conforme indicado na Figura 15-15a, um dispositivo interruptor pode ser usado para representar números binários. Quando o dispositivo interruptor está aberto, ele representa o número binário 0, e quando o dispositivo interruptor está fechado, ele representa o número binário 1. Isto é uma escolha arbitrária porque você poderia muito bem usar o dispositivo interruptor para representar o número 1, quando estivésse na posição aberta, e o número 0 quando estivéssse na posição fechada. Em ambos os casos, o dispositivo interruptor tem, de fato, duas condições: *aberto* e *fechado*. Portanto, é ideal para representar números binários.

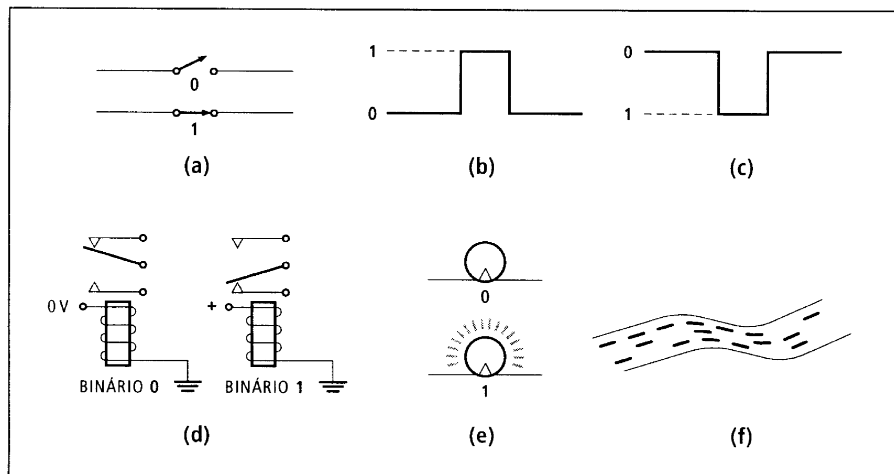


Fig. 15-1: Métodos para representar números binários: (**a**) posições do interruptor podem representar números binários; (**b**) um pulso usado para lógica positiva; (**c**) um pulso usado para lógica negativa; (**d**) um relé pode ser usado para representar números binários; (**e**) lâmpadas elétricas podem representar números binários; (**f**) uma fita perfurada pode ser codificada para 0 e 1.

A Figura 15-1b mostra como um pulso pode ser usado para representar números binários. Nesta ilustração, quando a tensão estiver no valor 0 volt, ela representa o número 0. Quando a tensão estiver na sua amplitude máxima, ela representa o número 1. Quando os pulsos são usados desta forma para representar números binários, diz-se que constituem *lógica positiva.*

A Figura 15-1c mostra uma representação em pulsos de *lógica negativa.* O nível 0 volt representa o número binário 0 e o pulso que está se tornando negativo é usado para representar o número binário 1.

Relés são componentes ideais para representar números binários. Um exemplo está indicado na Figura 15-1d. Um relé tem apenas duas condições: *energizado* e *não-energizado.* A condição energizada é geralmente usada para representar o número digital 1 e a condição não-energizada representa o número 0.

A Figura 15-1e mostra como lâmpadas podem ser usadas para representar números binários. Na ilustração, quando a lâmpada está LIGADA ela representa o número binário 1 e quando está DESLIGADA, ela representa o número binário 0. Esta é a maneira padronizada para representar números binários com lâmpadas.

A Figura 15-1f mostra uma maneira muito importante para representar números binários. É uma fita perfurada. Um furo na fita representa o número binário 1 e um local, onde não há furo algum, representa o símbolo binário 0. A fita perfurada é muito útil porque pode ser usada para armazenar uma grande quantidade de números binários. Os números binários armazenados podem ser convertidos em comandos elétricos para operar máquinas. Fitas magnéticas podem também ser usadas em lugar de fitas perfuradas para a mesma finalidade. Uma região magnetizada representa 1 e uma região não-magnetizada representa 0.

A Figura 15-1 não mostra todas as maneiras possíveis de representar números binários, mas sim, métodos típicos que você terá maior probabilidade de ver sendo usados em equipamentos eletrônicos. Diodos, triodos, transistores bipolares e transistores FET podem também ser usados para representar números binários.

A Figura 15-2 mostra um exemplo de como um transistor pode ser usado para representar os números binários. Na Figura 15-2a, o transistor está desligado e a queda de tensão sobre o resistor do emissor é 0 volt. Esta é a saída do circuito do transistor e representa o número binário 0. A razão de o transistor estar desligado é porque não há polarização direta entre o emissor e a base. Você poderá lembrar que deve haver um fluxo de corrente emissor-base num transistor antes que possa haver um fluxo de corrente no emissor e no circuito do coletor.

Na Figura 15-2b um pulso positivo é aplicado à base do transistor. Isto provoca o fluxo de uma corrente

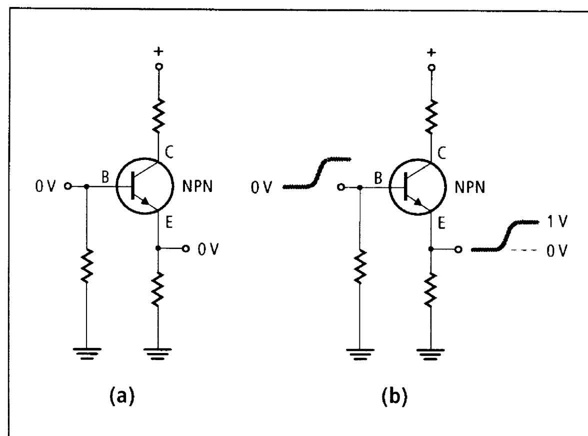


Fig. 15-2: Um transistor pode ser usado para representar os números binários 0 e 1: (**a**) este transistor está na condição 0 ou baixa; (**b**) um pulso positivo liga o transistor em condição 1 ou alta.

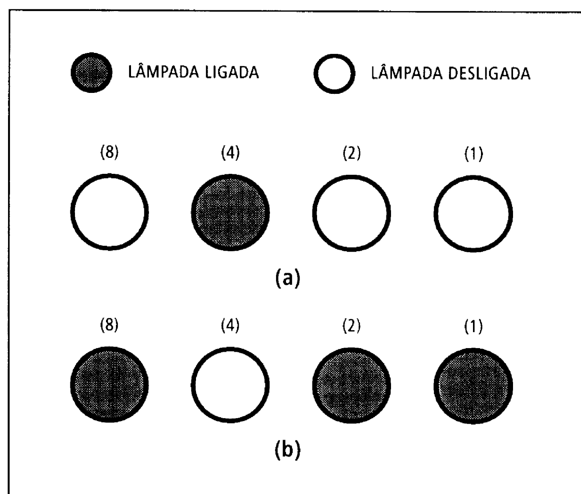


Fig. 15-3: Um *display* de lâmpadas para mostrar números binários: (**a**) as lâmpadas mostram o número binário 0100 que é igual ao número decimal 4; (**b**) as lâmpadas mostram o número binário 1011 que é igual ao número decimal 11.

emissor-base que, pôr sua vez, causa um fluxo relativamente importante de corrente de coletor. Como resultado disto, o emissor torna-se positivo e representa o número binário 1. Uma vez que o circuito do transistor da Figura 15-2 tem apenas duas condições possíveis (conduzindo e não-conduzindo) é muito útil para representar números binários.

A Figura 15-3 mostra como quatro lâmpadas podem ser usadas para representar números binários até e incluindo o número 15. Existem quatro lâmpadas marcadas 1, 2, 4 e 8. Estas posições são, às vezes, marcadas como 2^0, 2^1, 2^2 e 2^3. Em cada caso, cada lâmpada representa um número binário. Os números binários são representados ligando e desligando as lâmpadas. Na Figura 15-3a, apenas a lâmpada quatro (2^2) está ligada. Você pode ler as lâmpadas diretamente como um número binário. Neste caso, é o 0100. A Tabela 15-1 mostra que é igual ao número decimal 4.

A Figura 15-3b mostra o número 1011 representado com lâmpadas binárias. Conforme indicado na Tabela 15-1, isto representa o número decimal 11.

Apesar do fato de os computadores e outros sistemas de controle funcionarem mais facilmente com números binários, as pessoas não o compreendem com a mesma facilidade. Portanto, existem circuitos eletrônicos que convertem o sistema decimal em números binários. Estes circuitos são chamados de *conversores decimal-binários*. Existem também circuitos que convertem números binários em números decimais. Estes circuitos são chamados de *conversores binário-decimais*. Normalmente, estes conversores são na forma de pequenos conjuntos de circuitos integrados.

RESUMO

1. George Boole desenvolveu um método para escrever argumentos de lógica formal em símbolos. Isto eliminou as armadilhas das palavras emocionais e de duplo sentido.
2. A álgebra foi desenvolvida até um alto grau de perfeição. É usada nos projetos de computadores e de circuitos de controle que usam circuitos LIGA/DESLIGA e em circuitos lógicos.
3. Existe uma ampla variedade de componentes elétricos e eletrônicos que possuem dois níveis distintos de operação, porém existem muito poucas que possuem dez níveis distintos. Pôr esta razão, os sistemas de computadores e os sistemas de controle operam com sinais binários.
4. O número de símbolos diferentes usados num sistema de numeração é igual à sua base ou *raiz*. Pôr exemplo, a raiz no sistema decimal é 10. Os símbolos são os algarismos de 0 a 9.
5. A raiz do sistema de numeração binário é 2. Os símbolos usados são 0 e 1.
6. Para converter do sistema decimal para o sistema binário, pode ser usado um circuito eletrônico chamado de *conversor decimal-binário*.
7. Um conversor binário-decimal é um circuito eletrônico usado para converter do sistema binário para o sistema decimal.

O que são Circuitos Lógicos?

Os circuitos lógicos dentro de um computador ou de um sistema de controle operam com sinais binários na entrada e na saída. Os circuitos lógicos básicos serão discutidos usando interruptores e relés. Porém, lembre-se que em cada caso pode ser usado um diodo, uma válvula, um transistor bipolar ou um transistor FET no lugar do relé, porque esses componentes eletrônicos podem ser operados como dispositivos LIGA/DESLIGA. O uso de relés aqui é apenas para a finalidade de simplificar a discussão de circuitos lógicos básicos.

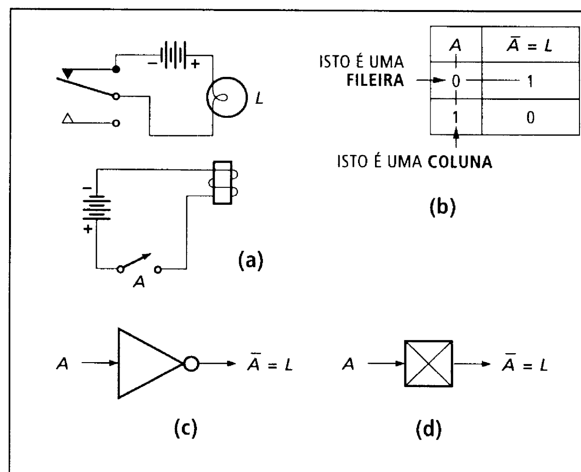
O que são Circuitos NÃO (Circuitos NOT)?

Um *circuito* NÃO é um circuito no qual a saída é igual ao inverso da entrada. Por esta razão, os circuitos NÃO são também conhecidos como *inversores*. A Figura 15-4 mostra o princípio envolvido.

No circuito de relé da Figura 15-4a, a lâmpada é ligada através dos contatos normalmente fechados do relé. O interruptor de operação irá causar um fluxo de corrente através da bobina de relé, energizando a bobina e ligando os terminais do relé. Isto irá abrir o circuito para a lâmpada e a lâmpada será DESLIGADA. Podemos descrever a operação deste circuito dizendo que a lâmpada está LIGADA toda vez que o interruptor A estiver DESLIGADO (ou aberto) e a lâmpada estará DESLIGADA toda vez que o interruptor A estiver LIGADO (ou fechado).

Uma maneira mais fácil para descrever a operação do circuito NOT consiste em usar uma *tabela de combinação*. Esta tabela está indicada na Figura 15-4b. Uma tabela de combinação indica simplesmente todas as condições sob as quais o circuito opera. A direção horizontal na tabela de combinação é chamada de *fileira* e a direção vertical é chamada de *coluna*. A primeira fileira na tabela de combinação mostra que quando o interruptor A está em condição aberta (condição simbolizada por 0), a lâmpada está LIGADA (condição simbolizada por 1). A segunda fileira mostra que quando o interruptor está fechado (condição simbolizada por 1), a lâmpada está desligada (condição simbolizada por 0). A tabela de combinação indica todas as condições possíveis de operação para o circuito NÃO da Figura 15-4a.

O símbolo $\bar{A}$ na coluna à direita da tabela de combinação é um símbolo lógico que significa NÃO.



A	Ā = L
0	1
1	0

Fig. 15-4: O circuito NÃO: (a) um circuito NÃO com relé; (b) tabela de combinação para o circuito NÃO; (c) símbolo MIL para um circuito NÃO; (d) símbolo NEMA para um circuito NÃO.

Você deve ler $\bar{A} = L$ como "NÃO A igual a L". Isto significa que quando o interruptor está aberto (não fechado), a lâmpada está LIGADA.

Existem várias maneiras diferentes de mostrar os símbolos esquemáticos para um circuito lógico. As duas maneiras mais comuns são o símbolo MIL (Figura 15-4c) e o símbolo NEMA (Figura 15-4d). Para cada um dos circuitos lógicos discutidos nesta seção iremos indicar ambos os símbolos. Como técnico, você deve familiarizar-se com ambos os tipos de símbolos e deve aprender a trabalhar com qualquer um dos tipos numa ilustração. Observe que no símbolo MIL existe um pequeno círculo na saída (ou entrada) do símbolo padronizado para o amplificador. Este pequeno círculo num símbolo MIL indica sempre que a saída (ou a entrada) está invertida.

RESUMO

1. Uma tabela de combinação pode ser usada para mostrar as várias condições possíveis de operação para um circuito lógico.
2. Um circuito NÃO é também conhecido como inversor.
3. Um sobre-traço é usado para indicar NÃO. Assim, $\bar{A}$ significa NÃO A.
4. Para representar circuitos lógicos em diagramas esquemáticos, existem dois tipos de símbolos, MIL e NEMA. Você deve conhecer ambos os tipos.

O que são Circuitos E (Circuitos AND)?

Um *circuito E* é um circuito no qual duas ou mais entradas devem estar presentes para produzir uma saída. A Figura 15-5 mostra as características importantes dos circuitos E.

A Figura 15-5a mostra dois interruptores (*A* e *B*) em série com uma lâmpada *L*. Para a lâmpada estar LIGADA é necessário que ambos os interruptores estejam fechados. Se um interruptor aberto representa o número binário 0 e um interruptor fechado representa o número binário 1, os interruptores *A* e *B* devem estar na condição *A* para que a lâmpada esteja na condição *A*.

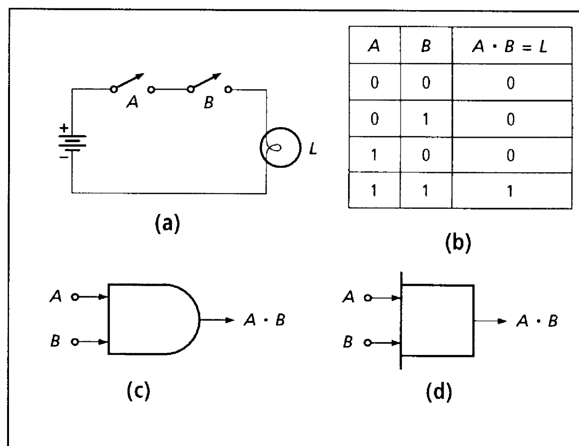
Duas entradas (*A* e *B*) são necessárias para o circuito *E* simples da Figura 15-5a. Este é um exemplo de um *circuito E de duas entradas*. Alguns circuitos eletrônicos têm cinco ou dez entradas. O número total de entradas é chamado de *fan-in* e o número total de saídas é chamado de *fan-out*.

Em circuitos lógicos, o símbolo para E é um sinal "vezes" igual àquele usado em aritmética normal. Todas as expressões abaixo significam *A* E *B*:

AB
A.B
A* x *B

A tabela de combinação da Figura 15-5b conta a história completa sobre o circuito E. Nesta tabela de combinação, as colunas *A* e *B* representam as condições dos interruptores e a última coluna representa a saída ou condição da lâmpada. A primeira fileira mostra que quando ambos os interruptores estão abertos (0), a lâmpada está DESLIGADA (0). Na segunda fileira, o interruptor *A* está aberto mas o interruptor *B* está fechado. Com apenas um interruptor fechado, a lâmpada está DESLIGADA. A terceira fileira mostra que quando o interruptor *A* está fechado e o interruptor *B* está aberto, a lâmpada está desligada. A quarta fileira mostra que quando ambos os interruptores estão fechados, ou seja, na condição 1, a lâmpada está LIGADA. Você deve estudar cuidadosamente esta tabela de combinação porque é uma maneira importante de representar os circuitos E.

O símbolo MIL para um circuito E de duas entradas está indicado na Figura 15-5c. As duas entradas devem ambas estar presentes para produzir a saída que está indicada em forma lógica com *A* . *B* (ler "*A*" e "*B*"). A Figura 15-5d mostra o símbolo NEMA para o circuito



A	B	A · B = L
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Fig. 15-5: Um circuito E: (**a**) um circuito E simples; (**b**) tabela de combinação para o circuito E; (**c**) símbolo MIL para o circuito E; (**d**) símbolo NEMA para um circuito E.

E de duas entradas. A entrada e a saída para o símbolo NEMA são as mesmas que para o símbolo MIL. Se houver mais entradas, haverá simplesmente mais terminais no símbolo.

RESUMO

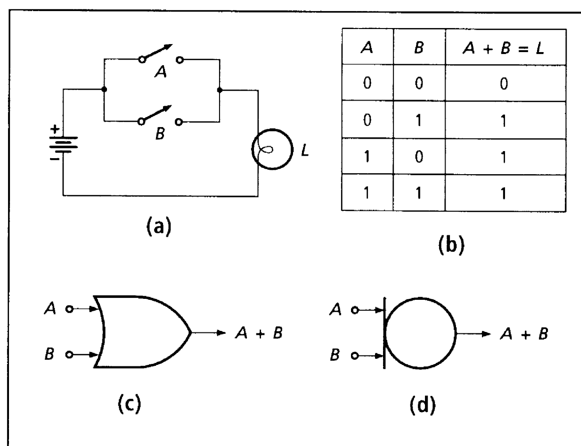
1. Com um circuito E, todas as entradas devem estar presentes para se obter uma saída.
2. Um circuito E é também chamado de *porta E*.
3. Todas estas expressões significam *A* E *B*: *AB*, *A* . *B* e *A* x *B*.
4. Em símbolos a expressão "a lâmpada está LIGADA quando os interruptores estão ambos fechados" pode ser escrita na forma *AB* = *L*.

O que são Circuitos OU (Circuitos OR)?

A palavra *OU* tem dois significados completamente diferentes. Vamos supor, por exemplo, que você diz: "Maria ou João podem ir para o mercado". Existem duas maneiras de interpretar esta sentença. Uma maneira de interpretar é dizer que Maria, ou João, ou ambos, Maria e João, podem ir para o mercado. Nesta interpretação, o *OU* é conhecido como *OU INCLUSIVO,* porque é possível a ambos irem ao mercado. Uma outra maneira de interpretar esta sentença é que ou Maria ou João podem ir, porém não os dois. Neste caso, é chamado de *OU EXCLUSIVO.* Nos circuitos lógicos, existem dois tipos de circuitos: um para *OU INCLUSIVO* e outro para *OU EXCLUSIVO.*

A Figura 15-6 mostra o circuito OU INCLUSIVO, a tabela de combinação e os símbolos. Na Figura 15-6a, dois circuitos estão ligados em paralelo no circuito da lâmpada. Se o interruptor *A* estiver fechado e o interruptor *B* estiver aberto, o circuito para a lâmpada será completado e a lâmpada estará LIGADA. Da mesma forma, se o interruptor *B* estiver fechado e o interruptor *A* aberto, a lâmpada estará LIGADA. Neste circuito particular, se ambos os interruptores *A* e *B* estiverem fechados, a lâmpada estará LIGADA. Portanto, isto é um circuito OU INCLUSIVO. Um sinal "mais" é usado para representar OU INCLUSIVO. $A + B = L$ significa que *A* ou *B* é igual a *L*.

A tabela de combinação para o circuito OU INCLUSIVO está indicada na Figura 15-6b. A primeira fileira mostra que se ambos *A* e *B* estiverem na condição 0, ou seja, abertos, a lâmpada estará na condição DESLIGADA ou condição 0. A segunda fileira mostra que se *B* estiver fechado e *A* estiver aberto, a lâmpada estará LIGADA. A fileira três mostra que se *A* estiver fechado e *B* estiver aberto, a lâmpada estará LIGADA. A fileira quatro mostra que se ambos *A* e *B* estiverem fechados, a lâmpada estará LIGADA.



A	B	A + B = L
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

(b)

Fig. 15-6: O circuito OU INCLUSIVO:(**a**) um circuito OU simples; (**b**) tabela de combinação para o circuito OU; (**c**) símbolo MIL para um circuito OU; (**d**) símbolo NEMA para um circuito OU.

Os símbolos para os circuitos OU INCLUSIVO são indicados nas Figuras 15-6c e 15-6d. A Figura 15-6c mostra o símbolo MIL e a Figura 15-6d mostra o símbolo NEMA.

O circuito para OU EXCLUSIVO é ligeiramente mais complicado. A Figura 15-7 mostra um circuito OU EXCLUSIVO com relés. A Figura 15-7a mostra o circuito de relés quando ambos os relés estão na condição desenergizada. O circuito da lâmpada não está completado.

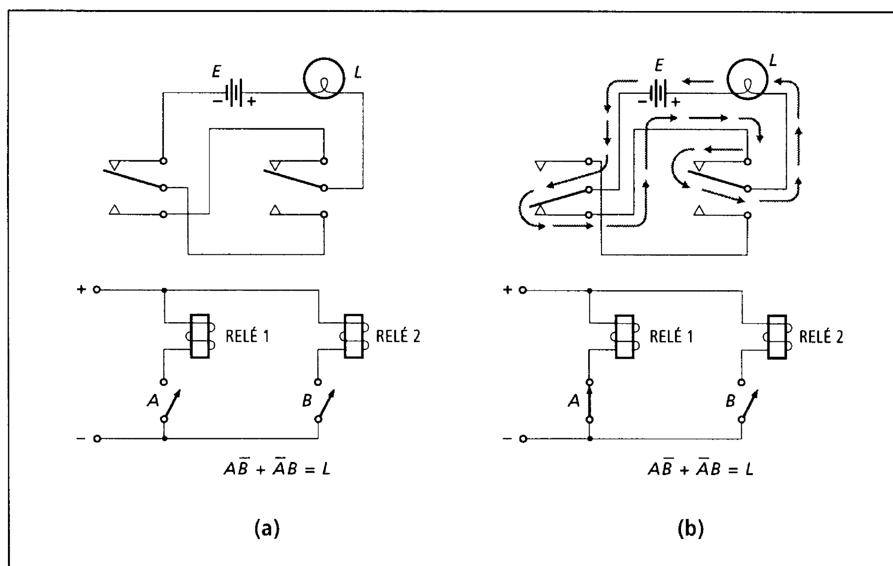


Fig. 15-7: Um circuito OU EXCLUSIVO: (**a**) ambos os interruptores estão abertos; ambos os relés estão desenergizados; (**b**)interruptor *A* fechado; relé 1 energizado.

Porém, se um dos relés, 1 ou 2, estiver energizado, o circuito da lâmpada estará completado. Os relés são energizados, fechando-se os interruptores A e B.

Se você fechar ao mesmo tempo A e B, ambos os relés tornar-se-ão energizados e o circuito da lâmpada será aberto. Isto é um circuito OU EXCLUSIVO porque você pode ligar a lâmpada ligando A ou B porém não ambos.

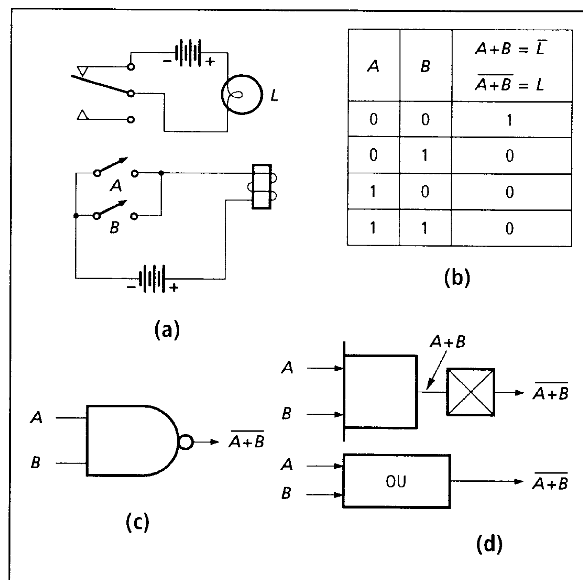
Você deve acompanhar cuidadosamente o circuito da lâmpada mostrado na Figura 15-7a. Com ambos os interruptores A e B abertos, não há qualquer caminho completo para a bateria E e a lâmpada L. A Figura 15-7b mostra o que ocorre quando o interruptor A está fechado. O relé 1 está indicado na condição energizada, mas o relé 2 não está energizado. Siga as setas que representam a corrente no circuito. Começando no terminal negativo de E, acompanhe o caminho da corrente através dos contatos fechados do relé número 1, através dos contatos fechados do relé número 2, através de L e, novamente, de volta para o terminal positivo de E.

O sinal "mais" com um círculo em volta dele significa OU EXCLUSIVO. Em símbolos,

$$\bar{A}B + A\bar{B} = A \oplus B$$

RESUMO

1. Existem duas interpretações possíveis quando a palavra OU é usada numa sentença.
2. "O interruptor A ou o interruptor B podem ser usados para ligar a lâmpada". Se isto significar: o interruptor A ou o interruptor B ou ambos, é OU INCLUSIVO.
3. Se a expressão significa o interruptor A ou o interruptor B, mas não ambos, é OU EXCLUSIVO.
4. A expressão "A ou B" pode ser escrita como $A + B$. Isto é, OU INCLUSIVO.
5. $A \oplus B$ significa A ou B. Esta é uma maneira de escrever OU EXCLUSIVO em símbolos.
6. $\bar{A}B + A\bar{B}$ é uma outra maneira de escrever OU EXCLUSIVO em símbolos.



A	B	$A+B = \bar{L}$ / $\overline{A+B} = L$
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

Fig. 15-8: O circuito NOU: (**a**) um circuito NOU com relé; (**b**) tabela de combinação para o circuito NOU; (**c**) símbolo MIL para um circuito NOU; (**d**) dois exemplos de símbolos NEMA para um circuito NOU.

O que são Circuitos NOU (Circuitos NOR)?

Um *circuito NOU* é um circuito no qual haverá uma saída quando duas ou mais entradas não estiverem presentes. O circuito NOU é diferente do circuito NÃO pelo fato de que o circuito NÃO possui apenas uma entrada enquanto o circuito NOU possui duas ou mais entradas. A Figura 15-8 mostra como é o circuito NOU.

A Figura 15-8a mostra um circuito NOU simples com relé. Quando o relé estiver desenergizado, o circuito da lâmpada é fechado através dos contatos normalmente fechados do relé. Se A ou B estiver na condição 1 (ou se ambos estiverem na condição 1), o relé estará energizado e o circuito da lâmpada estará aberto. Portanto, a única condição sob a qual a lâmpada pode estar LIGADA é se não houver entrada nem em A e nem em B.

A Figura 15-8b mostra a tabela de combinação NOU. A primeira fileira mostra que, se não houver entrada, haverá saída. A segunda, terceira e quarta fileiras mostram que se uma ou ambas as entradas estiverem na condição 1 não haverá saída.

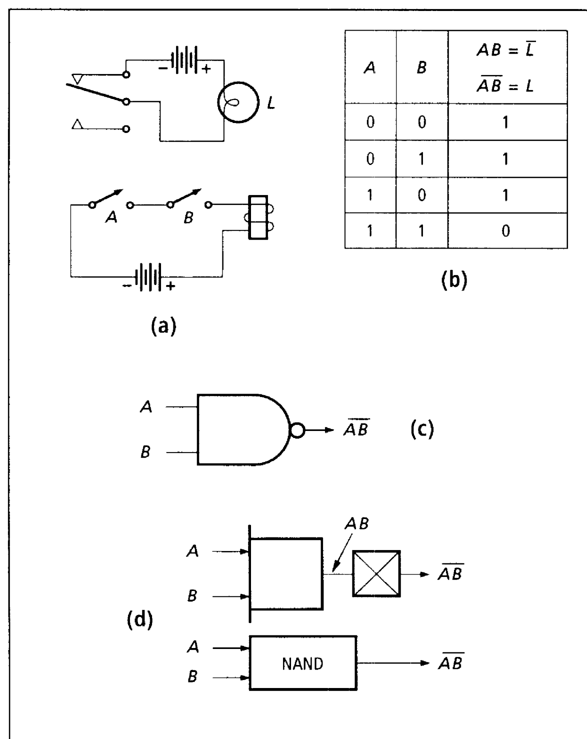
As Figuras 15-8c e 15-8d mostram os símbolos MIL e NEMA para o circuito NOU. Existem dois símbolos NEMA para o circuito NOU. Um mostra um circuito OU com a saída negativa ou invertida.

A saída do OU neste símbolo seria *A* ou *B*, após a inversão seria NÃO *A* OU *B*. Uma outra maneira de indicar o símbolo seria simplesmente mostrar um quadrinho com NOU escrito dentro. Isto também está indicado na Figura 15-8d.

O que são Circuitos NE (Circuitos NAND)?

Um *circuito NE* é um circuito no qual ambas as entradas devem estar na condição 1 para que a saída esteja na condição 0. A Figura 15-9 mostra um circuito NE.

A Figura 15-9a mostra um circuito NE simples com relé. Observe que a lâmpada está LIGADA somente quando *A* e *B* estão ambos na condição 0. Se *A* ou *B* estiver na condição 1, porém, não ambos, a lâmpada ainda estará LIGADA. A única maneira de a lâmpada estar DESLIGADA é se *A* e *B* estiverem ambos na condição 1.



A	B	$AB = \overline{L}$ / $\overline{AB} = L$
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Fig. 15-9: O circuito NE: (**a**) um circuito NE com relé; (**b**) tabela de combinação para o circuito NE; (**c**) símbolo MIL para um circuito NE; (**d**) dois exemplos de símbolos NEMA para circuitos NE.

A tabela de combinação NE está indicada na Figura 15-9b. As primeiras três fileiras nesta tabela de combinação mostram que, se um dos interruptores ou ambos estiverem na condição DESLIGADA, a lâmpada estará LIGADA. A quarta fileira mostra que se ambas as entradas estiverem na condição 1, a lâmpada estará DESLIGADA.

O símbolo MIL para o circuito NE está indicado na Figura 15-9c e a Figura 15-9d mostra duas maneiras de desenhar um símbolo NEMA. Uma maneira consiste em usar um circuito E com um inversor na saída. A saída do circuito E é *A* e *B*. Depois de invertido, torna-se NÃO *A* e *B*. Uma outra maneira de representar um circuito NE com um símbolo NEMA é mostrar simplesmente um quadrinho com a palavra NE no mesmo. Isto está também indicado na Figura 15-9d.

RESUMO

1. Num circuito NOU não haverá saída se uma entrada ou ambas as entradas estiverem presentes.
2. Um circuito NOU pode ser obtido usando um bloqueio OU e um circuito NÃO em série.
3. A maneira simbólica de dizer que uma lâmpada *L* não está LIGADA num circuito, com a condição de uma entrada *A* ou *B* estar presente, é $A + B = L$. Da tabela de combinação da Figura 15-8b, você também pode representar essa condição como $\overline{A + B} = L$. Em outras palavras, a lâmpada está na condição 1 quando nem *A* nem *B* estiverem ligados.
4. Num circuito NE haverá uma saída somente se todas as entradas não estiverem presentes.
5. Um circuito NE pode ser obtido usando um bloqueio E e um circuito NÃO em série.
6. A maneira simbólica de dizer que uma lâmpada *L* está desligada num circuito, quando uma das entradas *A* e *B*, ou ambas, estão presentes é $AB = L$. Da tabela de combinação, você pode também ver que $\overline{AB} = L$. Em outras palavras, a lâmpada está na condição 1 quando ambos, *A* e *B*, estiverem desligados.

O que são Circuitos *Flip-Flop*?

No Capítulo 11, você estudou o funcionameto de multivibradores, que eram circuitos estáveis. Estes circuitos são formados por dois dispositivos amplificadores e um ou outro dispositivo – porém, não ambos – devem estar conduzindo a todo instante. Em operação, a condução passa continuamente de um ao outro dispositivo condutor.

Um *circuito flip-flop* é muito parecido com o multivibrador, porque tem também dois dispositivos amplificadores que possuem dois estados estáveis. Porém, ao contrário do multivibrador, é *biestável*, isto é, pode permanecer indefinidamente com um ou outro (mas, não ambos) dispositivo amplificador conduzindo.

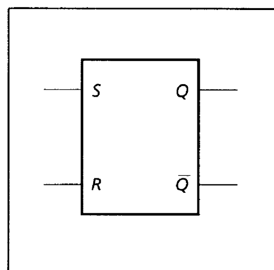
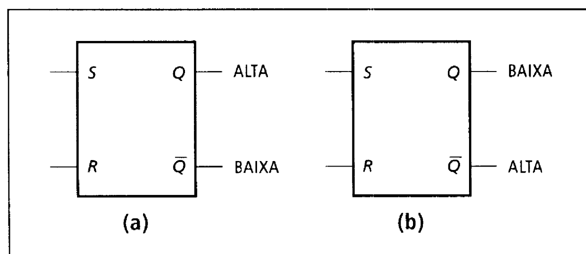


Fig. 15-10: Símbolo para um circuito *flip-flop* básico.

A Figura 15-10 mostra uma representação simples de um circuito *flip-flop*. Existem dois sinais de entrada marcados como *S* e *R* (que significa "liga" *(set)* e "desliga" *(reset)*, respectivamente). Este tipo de circuito *flip-flop é* chamado de *R-S*. Os terminais de saída estão marcados como Q e $\overline{Q}$ nesta ilustração, mas outros símbolos de identificação podem, às vezes, ser usados para a saída.

Existem duas condições possíveis para o circuito *flip-flop*. Uma é quando a saída do terminal Q é alta e a saída do terminal $\overline{Q}$ é baixa; e a outra condição é quando a saída do terminal Q é baixa e a saída do terminal $\overline{Q}$ é alta. Quando a saída de um terminal é alta, o terminal está na condição binária 1, e quando a saída de um terminal é baixa, o terminal está na condição binária 0.

Fig. 15-11: As duas condições possíveis de um circuito *flip-flop*: (**a**) circuito *flip-flop* em condição alta; (**b**) circuito *flip-flop* em condição baixa.



As duas condições possíveis para operar o circuito *flip-flop R-S* são indicadas na Figura 15-11. A condição indicada na Figura 15-11a é conhecida como condição LIGA ou condição *alta* do circuito *flip-flop*. Assim, quando o terminal Q está em alta, o circuito *flip-flop* está em condição alta. Quando o terminal Q está em baixa, conforme indicado na Figura 15-11b, o circuito *flip-flop* está em condição *baixa*. É muito importante você entender que qualquer uma das saídas do circuito *flip-flop* pode ser alta ou baixa, porém, as duas saídas devem estar sempre em condição oposta isto é, não é possível para ambos, Q e $\overline{Q}$, estarem na condição alta ou baixa.

Circuitos *flip-flop* podem ser produzidos com elementos discretos como: válvulas, transistores e relés. Porém, em modernos circuitos de controle, você tem mais oportunidades de ver circuitos *flip-flop* feitos de combinações de bloqueios de lógica básica. Estes bloqueios de lógica são circuitos integrados que são usados em combinações.

O circuito *flip-flop* em si consiste geralmente de um elemento encapsulado e é tratado como um único componente (vide Figura 15-12). Pôr esta razão, é muito importante você saber como o circuito *flip-flop* se comporta com diferentes sinais de entrada e qual deve ser sua saída para várias combinações de sinal de entrada.

RESUMO

1. Um circuito *flip-flop* é um circuito biestável. Ele permanece em qualquer dos dois estados de operação até ser chaveado.
2. Um circuito *flip-flop R-S* está LIGADO (ou em condição alta) quando o terminal de saída *Q* está em condição alta.
3. Quando o terminal de saída *Q* de um circuito *flip-flop R-S* está em condição baixa, o circuito *flip-flop* está DESLIGADO (ou em condição baixa).
4. Em um determinado instante, o circuito *flip-flop* mostra qual foi a última informação que recebeu, logo pode funcionar como memória.

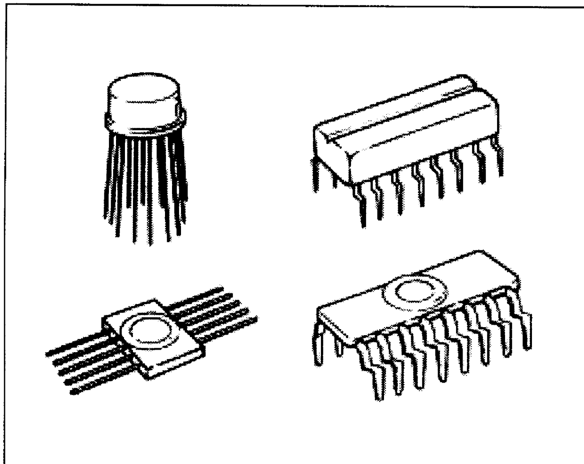


Fig. 15-12: Nos modernos sistemas de controle, os circuitos *flip-flop* são encontrados em pacotes de circuitos integrados como aqueles indicados aqui.

PERGUNTAS DE REVISÃO PROGRAMADA

(As instruções para o uso desta seção de revisão programada são fornecidas no Capítulo 1 / pág. 8.)

Iremos rever os conceitos importantes deste capítulo. Se você entendeu o material, poderá progredir facilmente nesta seção. Não pule este material porque nele são apresentadas algumas informações teóricas adicionais.

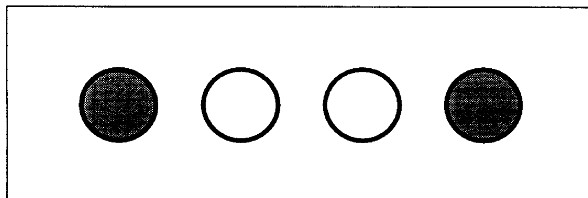


Fig. 15-13: Condição do circuito para a pergunta no item 1.

1 **As lâmpadas na Figura 15-13 representam números binários. Um círculo escuro representa uma lâmpada LIGADA e o círculo claro representa uma lâmpada DESLIGADA. O número decimal representado pelas lâmpadas na Figura 15-13 é:**

A **9** (passe para o item 9).
B **11** (passe para o item 17).

2 *A resposta correta para a pergunta no item 9 é A. Quando o terminal de saída Q está na condição baixa e o terminal de saída $\overline{Q}$ esta na condição alta, o circuito flip-flop operará. O inverso ocorre quando o terminal Q está na condição alta e o terminal de saída $\overline{Q}$ está na condição baixa.* Aqui está a próxima pergunta:

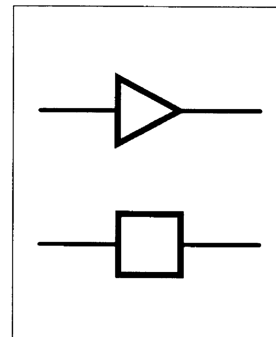


Fig. 15-14: Símbolos para a pergunta no item 2.

Com relação aos símbolos esquemáticos indicados na Figura 15-14,

A **Ambos são representações de circuitos NÃO** (passe para o item 27).
B **Nenhum deles é uma representação de um circuito NÃO** (passe para o item 4).

3 *A resposta correta para a pergunta no item 10 é B. Circuitos E, circuitos OU e outros circuitos lógicos também são chamados de portas.*
Aqui está a próxima pergunta:

As entradas para um circuito lógico podem ser chamadas de:

A **Fan-in** (passe para o item 13).
B **Partidas** (passe para o item 26).

4 *A resposta correta para a pergunta no item 2 é B. O símbolo MIL para o circuito NÃO possui um pequeno círculo na saída do símbolo do amplificador. Isto indica que a saída é invertida. O símbolo NEMA possui um X no retângulo. Portanto, nenhuma das ilustrações é correta para representar um circuito NÃO.*
Aqui está a próxima pergunta:

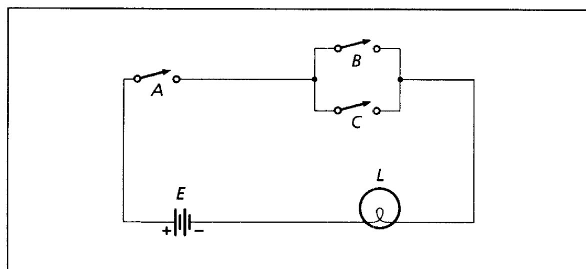


Fig. 15-15: O circuito para a pergunta no item 4.

Na Figura 15-15, os interruptores estão dispostos de tal forma que a lâmpada estará LIGADA quando os interruptores *A* e *B* ou o interruptor *C* estiverem fechados. Qual das seguintes expressões abaixo descreve esta condição?

[A] ***ABC***
(passe para o item 15).
[B] ***A*** × **(*B* + *C*)**
(passe para o item 12).

5 *Se sua resposta para a pergunta no item 16 é B, está errada. A expressão* $AB + \overline{AB}$ *significa que você pode ter A e B ou você pode ter NÃO A e NÃO B para conseguir uma saída. Esta não é uma característica de um circuito OU EXCLUSIVO.* Passe para o item 11.

6 *A resposta correta para a pergunta no item 25 é B. Com um circuito OU EXCLUSIVO não existe uma saída quando ambas as entradas estão na condição 1.* Aqui está a próxima pergunta:

No sistema de numeração octal, a raiz é:

[A] **7** (passe para o item 24).
[B] **8** (passe para o item 10).

7 *Se sua resposta para a pergunta no item 9 é B, está errada. Não é possível para um circuito flip-flop em operação ter duas saídas em condição alta ou duas saídas em condição baixa, ao mesmo tempo.* Passe para o item 2.

8 *A resposta correta para a pergunta no item 12 é B. O sistema OU EXCLUSIVO está indicado na Figura 15-7.* Aqui está a próxima pergunta:

Quais das seguintes tabelas é uma tabela de combinação para um circuito NÃO.

[A]

A	L
0	1
1	0

(passe para o item 16).

[B]

A	L
0	1
0	1

(passe para o item 20).

9 *A resposta correta para a pergunta no item 1 é A. As lâmpadas indicam 1001. Este número binário eqüivale ao número decimal 9. (Verifique isto na Tabela 15-1).* Aqui está a próxima pergunta:

Qual das seguintes proposições é uma possível condição de operação para um circuito *flip-flop?*

[A] **O terminal de saída *Q* está na condição baixa e o terminal de saída $\overline{Q}$ está na condição alta**
(passe para o item 2)
[B] **Os terminais de saída *Q* e $\overline{Q}$ estão ambos na condição alta**
(passe para o item 7)

10 *A resposta correta para a pergunta no item 6 é B. Contando 0, existem oito dígitos no sistema octal e sua raiz é 8.* Aqui está a próxima pergunta:

Um outro nome do circuito E é:

[A] **Ponte E**
(passe para o item 23).
[B] **Porta E**
(passe para o item 3).

11 *A resposta correta para a pergunta no item 16 é A. A expressão A ⊕ B significa A OU B EXCLUSIVO. Uma outra maneira de escrever isto é* $A\overline{B} + \overline{A}B$. Aqui está a próxima pergunta:

Qual é o número que está faltando nesta tabela de combinação da porta E de duas entradas?

A	B	L
0	0	
0	1	0
1	0	0
1	1	1

[A] **Não pode ser determinado** (passe para o item 14).
[B] **1** (passe para o item 22).
[C] **0** (passe para o item 25).

12 *A resposta correta para a pergunta no item 4 é B. A expressão A × (B + C) significa "A e ou B ou C, ou ambos". Observe que + é o sinal para OU INCLUSIVO.* Aqui está a próxima pergunta:

A	B	L
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Fig. 15-16: Tabela de combinação para a pergunta no item 12.

A Figura 15-16 mostra a tabela de combinação para:

[A] **Uma porta NOU de duas entradas** (passe para o item 18).
[B] **Uma porta OU EXCLUSIVO** (passe para o item 8).

13 *A resposta correta para a pergunta no item 3 é A. As entradas para um circuito lógico são designadas por **fan-in** e as saídas são designadas por **fan-out**. Em geral, considera-se ser uma vantagem de um circuito lógico poder manipular um grande **fan-in** e um grande **fan-out**. Apesar das desvantagens relativas de se usar relés em circuitos eletrônicos, existe uma vantagem definida. Podem ter um **fan-in** e um **fan-out** relativamente grandes.* Aqui está a próxima pergunta:

Um circuito *flip-flop R-S* que é feito com lógica NOU está em condição baixa. Um pulso positivo aplicado ao terminal *R*

[A] **Não terá qualquer efeito sobre a saída** (passe para o item 28).
[B] **Irá ligar o circuito *flip- flop* para a condição alta** (passe para o item 19).

14 *Se sua resposta para a pergunta no item 11 é A, está errada. Para uma porta E de duas entradas não há saída alguma quando as duas entradas são 0.* Passe para o item 25.

15 *Se sua resposta para a pergunta no item 4 é A, está errada. A expressão ABC significa "A e B e C".* Passe para o item 12.

16 *A resposta correta para a pergunta no item 8 é A. Conforme indicado pela tabela de combinação, quando a entrada A é 0, a saída é 1 quando A é L, a saída é 0. Esta é uma característica do circuito NÃO.* Aqui está a próxima pergunta:

Qual das seguintes expressões significa o mesmo que $A \oplus B$?

[A] $\bar{A}B + A\bar{B}$ (passe para o item 11).
[B] $AB + A\bar{B}$ (passe para o item 5).

17 *Se sua resposta para a pergunta no item 1 é B, está errada. Estude os números binários na Tabela 15-1 e, em seguida,* passe para o item 9.

18 *Se sua resposta para a pergunta no item 12 é A, está errada. Reveja a tabela de combinação para bloqueio NOU e OU EXCLUSIVO e, em seguida,* passe para o item 8.

19 *A resposta correta para a pergunta no item 13 é B. O circuito **flip-flop** está na condição baixa e será ligado por um pulso positivo aplicado ao terminal de religação.* Aqui está a próxima pergunta:

Quando um circuito *flip-flop* está em condição alta, qual é o terminal de saída (Q ou $\bar{Q}$) que está em condição alta?
(Passe para o item 29)

20 *Se sua resposta para a pergunta no item 8 é B, está errada. É muito importante que você aprenda a identificar e entender as tabelas de combinação. Num circuito NÃO, quando a entrada é 1, a saída é 0. Quando a saída é 1, a entrada é 0.* Passe para o item 16.

21 *Se sua resposta para a pergunta no item 25 é A, está errada. O símbolo usado na equação é para OU EXCLUSIVO.* Passe para o item 6.

22 *Se sua resposta para a pergunta no item 11 é B, está errada. As duas entradas são 0, portanto, a saída deve ser 0.* Passe para o item 25.

23 *Se sua resposta para a pergunta no item 10 é A, está errada. Circuitos E não são normalmente chamados pontes E.* Passe para o item 3.

24 *Se sua resposta para a pergunta no item 6 é A, está errada. Apesar do dígito mais alto no sistema octal ser o 7, existe um número total de oito dígitos porque é preciso contar também o 0.* Passe para o item 10.

25 *A resposta correta para a pergunta no item 11 é C. A Figura 15-5 mostra a tabela de combinação E.* Aqui está a próxima pergunta:

A expressão $A \oplus B = L$ significa que:

[A] ***L* é 1 se uma ou ambas as entradas (*A* e *B*) forem 1**
(passe para o item 21).

[B] ***L* é 1 se *A* ou *B* é 1, porém não se ambos *A* e *B* forem 1**
(passe para o item 6).

26 *Se sua resposta para a pergunta no item 3 é B, está errada. As entradas para circuitos lógicos nunca são chamadas de "partidas".* Passe para o item 13.

27 *Se sua resposta para a pergunta no item 2 é A, está errada. Nenhum dos dois blocos indicados representa circuitos NÃO. Você deve estudar a representação esquemática para circuitos NÃO muito cuidadosamente e, em seguida,* passe para o item 4.

28 *Se sua resposta para a pergunta no item 13 é A, está errada. Os circuitos **flip-flops R-S**, feitos de lógica NOU, são ligados com pulsos positivos. Se o circuito **flip-flop** estiver na condição baixa, o pulso positivo para o terminal de religação (R) irá ligar o circuito de volta para a condição alta.* Passe para o item 19.

29 *A saída Q é elevada quando o circuito **flip-flop** está em condição elevada.*

Você completou agora as perguntas de revisão programada. A etapa seguinte consiste em por algumas destas idéias em prática em experiências de laboratório. Passe para a seção de experiências deste capítulo.

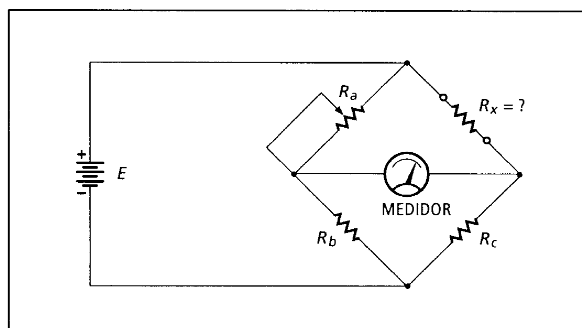


Fig. 15-17: Circuito com ponte de Wheatstone.

EXPERIÊNCIAS

(As experiências descritas nesta seção podem ser realizadas na placa de circuitos descrita no Anexo C ou numa montagem de laboratório similar.)

■ FINALIDADE

Nestas experiências, você estudará exemplos do desempenho de um LSR (resistor sensível à luz), em alguns circuitos transdutores. Esse tipo de circuito tem muitas aplicações em eletrônica industrial e em instrumentos de medição. Observe que apesar destas experiências não estarem diretamente relacionadas com circuitos lógicos, elas incorporam princípios vitais que você deve aprender em seu estudo de eletrônica básica.

■ TEORIA

Em eletrônica, um transdutor é as vezes conhecido como *sensor*. É um dispositivo que permite a um tipo de energia controlar um outro tipo de energia. Dois bons exemplos de transdutores são os microfones e os alto-falantes. Num microfone, a energia sonora controla o valor da corrente ou da tensão de saída. Num alto-falante, a energia elétrica controla a intensidade da energia sonora vinda do alto-falante. Em ambos os casos, os transdutores têm um tipo de energia de entrada e outro tipo de energia de saída.

Geralmente, um transdutor que gera um sinal de saída está ligado no sistema através de um tipo especial de circuito ou de componente. Isto é necessário porque a saída do transdutor pode ser pequena demais em tensão ou corrente para operar diretamente o sistema.

Um circuito popular em que transdutores são geralmente ligados é uma *ponte*. A Figura 15-17 mostra um circuito especial de ponte, chamado de *ponte de Wheatstone* (este circuito não mostra ainda um transdutor) que e usado para medir valores de resistência. A resistência desconhecida R_x está ligada no circuito. O resistor variável R_a é ajustado até que o instrumento de medição não indique corrente alguma. Geralmente, o m-ostrador de R_a é calibrado de modo que o valor da resistência possa ser lido diretamente. Quando não há mais corrente fluindo através do instrumento de medição, diz-se que a ponte é *balanceada* e o valor de R_x pode ser determinado pela equação:

$$R_x = \frac{R_a R_c}{R_b}$$

Uma característica importante da ponte de Wheatstone, e uma das razões pela qual é tão popular para medir resistência, é o fato de que mudanças na tensão aplicada E não afetarão sua operação. A razão para isto é que há operação baseada nas relações de quedas de tensão sobre os resistores. Mesmo que a tensão aplicada seja alterada, as relações não mudarão e, portanto, a ponte pode operar corretamente com uma ampla gama de valores da tensão. Essa é uma característica muito importante da ponte, o que a torna tão popular para circuitos transdutores. Em alguns casos, é importante ligar um transdutor num circuito que não será afetado por mudanças da tensão aplicada. A saída de tensão ou de freqüência do transdutor deve ser somente proporcional à grandeza que estiver sendo medida. Não deveria ser afetada por variações na tensão da fonte de alimentação. Por isso é que você achará certos transdutores ligados em circuitos de ponte. De fato, nessa experiência, você experimentará este tipo de circuito.

Conforme mencionado anteriormente, a saída de um transdutor pode ser bastante baixa e, portanto, precisa às vezes ser amplificada em algumas aplicações. Um amplificador de transdutor será também demonstrado nestas experiências.

PRIMEIRA PARTE

■ MONTAGEM DO TESTE

A Figura 15-18 mostra a montagem do teste para a primeira parte desta experiência. Ela consiste de um circuito retificador de meia-onda (X_1 e C_1). A tensão de saída deste circuito retificador é de cerca de 9 volts cc. Esta tensão é aplicada sobre a ponte em vez da tensão E da Figura 15-17.

O transdutor (LSR) é um resistor sensível à luz. Sua resistência diminui com um aumento na intensidade da luz. Deveria ser possível ajustar o resistor R_1 de modo que a leitura do voltímetro fosse de 0 volt com iluminação normal da sala.

Você deve entender que, em alguns circuitos práticos, o voltímetro pode ser substituído por um amplificador ou, em alguns casos, por um dispositivo indicador de corrente muito sensível como, por exemplo, um microamperímetro.

■ PROCEDIMENTO

☐ *Etapa 1:* Realizar as ligações do circuito conforme indicado na Figura 15-18. A Figura 15-18a mostra o diagrama esquemático e a Figura 15-18b mostra o diagrama de ligações.

Observe cuidadosamente a polaridade do voltímetro ao fazer esta ligação.

Pode ser necessário inverter as ligações do voltímetro e do diodo X_2 para o voltímetro ler certo. O diodo X_2 é usado para impedir o voltímetro de ler invertido quando a ponte estiver desbalanceada.

☐ *Etapa 2:* Ajustar o seletor de escala do voltímetro de corrente contínua para algum valor acima de 9 volts. Operar o interruptor e observar a leitura do voltímetro.

O voltímetro deve ler certo. Se não for o caso, ajustar o resistor R_1 e verificar se ele pode ler a escala acima. Se não houver qualquer indicação de tensão, será então necessário inverter tanto o diodo X_1 como as ligações do voltímetro, e repetir o processo.

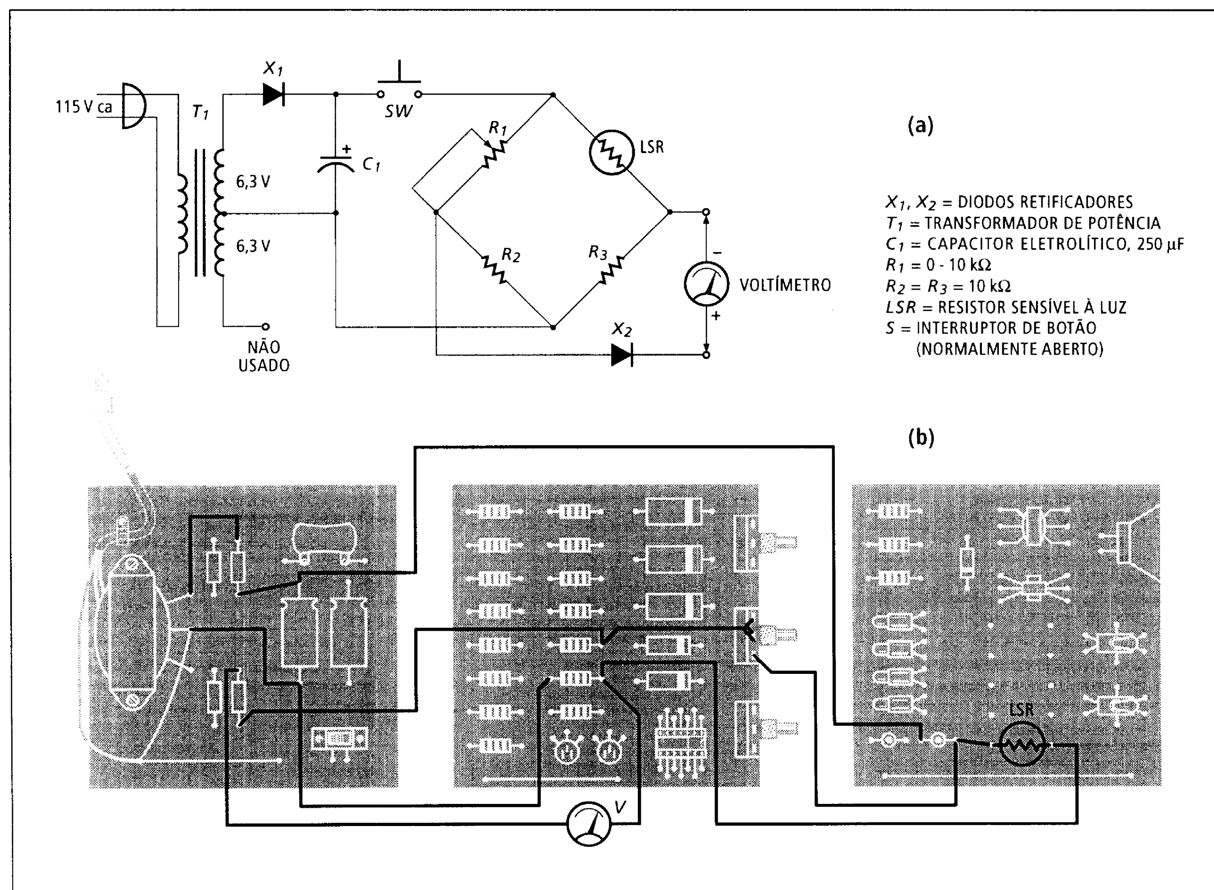
☐ *Etapa 3:* Ajustar R_1 cuidadosamente, de modo que a leitura do voltímetro seja 0 volt. O resistor fotossensível LSR deveria ser exposto à luz ambiente neste momento. Se você tiver um voltímetro com o zero no centro da escala, ele é ideal para esta aplicação. Neste caso, você pode remover o diodo colocado em série com a conexão do voltímetro.

☐ *Etapa 4:* Uma vez que o voltímetro estiver em zero, cobrir o resistor fotossensível com um pedaço de papelão. A leitura do voltímetro é maior?

.... **Sim ou Não**

Se você tiver realizado corretamente as ligações do circuito, a leitura do voltímetro será maior, quando você cobrir o resistor fotossensível (LSR). A razão para isto é a seguinte: em primeiro lugar você balanceia o voltímetro ajustando sua tensão em zero com o resistor

Fig. 15-18: Detector de luz: (**a**) diagrama esquemático; (**b**) diagrama de ligações.



variável R_1. Isto significa que o voltímetro é balanceado com o resistor fotossensível (LSR) exposto à luz. Quando você cobre o resistor fotossensível LSR, sua resistência muda causando um desbalanceamento na ponte, fazendo com que a leitura do voltímetro seja maior. Este tipo de circuito é usado extensivamente em certos instrumentos de medição e em sistemas eletrônicos industriais.

SEGUNDA PARTE

■ MONTAGEM DO TESTE

A Figura 15-19 mostra a montagem do teste para esta parte da experiência. A Figura 15-19a mostra a montagem do teste e a Figura 15-19b mostra o diagrama de ligações. O transistor Q_1 em um resistor de carga de 3,3 kilohms e um resistor de 10 kilohms em série com o resistor fotossensível (LSR) para o circuito de polarização. A fonte de alimentação consiste de um diodo retificador de meia-onda X_1 e de um capacitor de filtro C_1. A teoria é bastante simples. Quando a intensidade da luz que incide sobre o resistor fotossensível (LSR) muda, a resistência de polarização para o transistor muda. Isto fará com que a intensidade de condução mude, causando uma alteração na leitura do voltímetro.

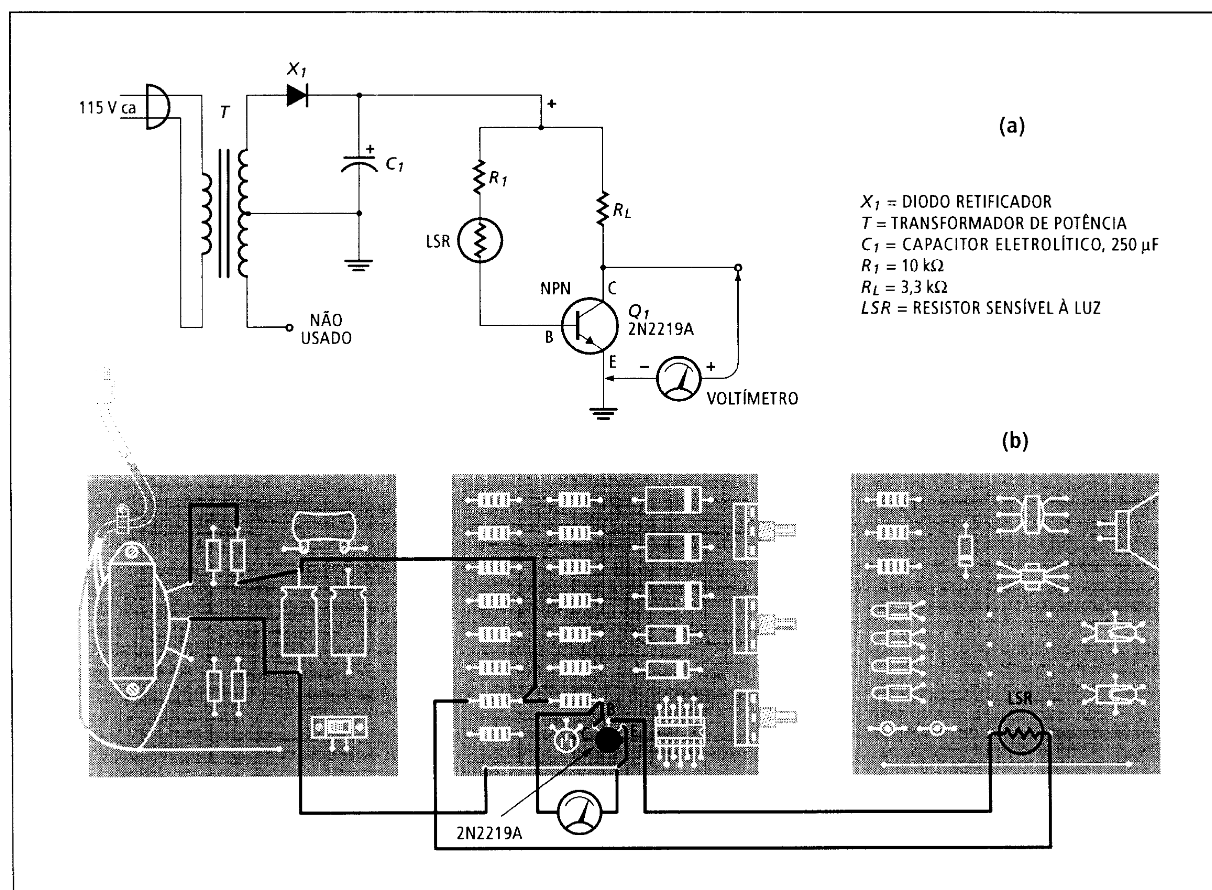
■ PROCEDIMENTO

☐ *Etapa 1:* Realizar as ligações do circuito conforme indicado na Figura 15-19.

☐ *Etapa 2:* Medir a tensão de saída do transistor no coletor e anotar o valor (luz ambiente normal).

.... **volts**

Fig. 15-19: Transdutor com amplificador: (a) diagrama esquemático; (b) diagrama de ligações.



Você deve obter uma tensão contínua baixa. Isso indica que o transistor está conduzindo uma corrente elevada. Grande parte da queda de tensão no circuito ocorre sobre o resistor de carga. Ocorre pouca queda de tensão sobre o transistor.

☐ *Etapa 3:* Cobrir o LSR e observar a alteração na leitura do voltímetro. A leitura do voltímetro sobe?

.... **Sim ou Não**

A leitura do voltímetro deve subir quando o LSR é coberto. O raciocínio é o seguinte: com o LSR exposto à luz, sua resistência é baixa ou ocorre um alto fluxo de corrente na base. Esta corrente de base é suficiente para quase saturar o transistor. Uma maneira de dizer isso é que a corrente de base é suficientemente importante de modo que o transistor está conduzindo quase sua máxima corrente possível. Nesta condição, a tensão sobre o transistor é baixa e ocorre uma queda de tensão importante sobre o resistor de 3,3 kilohms. Observe que o voltímetro está realmente medindo a tensão sobre o transistor de modo que a leitura do voltímetro é baixa.

Quando o LSR é coberto, sua resistência aumenta. Isso reduz a corrente da base e reduz a corrente do coletor. Quando você reduz a corrente do coletor, reduz também a queda da tensão sobre o resistor de carga R_l e aumenta a tensão sobre o transistor. Isto causa um aumento da tensão sobre o transistor. Observe que a tensão sobre o transistor mais a tensão sobre R_L devem sempre ser iguais à tensão aplicada. (Isso é basicamente a lei de tensões de Kirchoff). Portanto, se você aumentar a queda de tensão sobre R_l, reduzirá a tensão sobre o transistor e vice-versa.

Você pode também considerar a ação em termos de reversão de fase. Quando o LSR é coberto, sua resistência aumenta. A maior queda de tensão sobre o LSR faz com que a tensão da base se torne menos positiva. Quando a base de um transistor amplificador se torna menos positiva, o coletor torna-se mais positivo.

■ CONCLUSÃO

O LSR é um resistor sensível à luz que age como um transdutor. O valor de sua resistência varia com a intensidade da luz. Quanto maior a quantidade de luz, menor a resistência.

Quando o LSR é colocado num circuito de ponte (Figura 15-18), alterações na quantidade luz irão causar um desbalanceamento no circuito e produzirão uma saída.

No circuito amplificador da Figura 15-19, alterações na resistência do LSR causam uma alteração na corrente de base, o que também altera a intensidade da corrente do coletor. Em aplicações modernas, um amplificador operacional de alto ganho é usado como amplificador do transdutor para tornar a alteração da saída maior para uma determinada alteração na intensidade da luz. Em outras palavras, o amplificador operacional de alto ganho aumenta a sensibilidade do circuito.

AUTOTESTE COM RESPOSTAS

(As respostas com discussões encontram-se no final do capítulo / pág. 358.)

1. O número decimal 17 é igual ao número binário:

(a) 10101;

(b) 10010;

(c) 1000001;

(d) 10001.

2. A raiz no sistema duodecimal é:

(a) 12;

(b) 2;

(c) 10;

(d) 8.

3. Qual das seguintes proposições descreve mais exatamente a ação de um circuito flip-flop?

(a) Não possui estado estável. Liga e desliga continuamente entre dois estados.

(b) Possui dois estados estáveis. Permanecerá num estado até ser mudado para o outro.

4. Para um circuito flip-flop R-S a saída não pode ser determinada quando:

(a) S e R são ambos 0.

(b) S é 1 e R é 0.

5. Um circuito flip-flop R-S está em condição alta:

(a) quando S é 1 e R é 0;

(b) quando S é 0 e R é 1.

6. No sistema binário de contagem a raiz é:

(a) 0;

(b) 1;

(c) 2;

(d) nenhum das anteriores.

7. Em circuitos lógicos, qual das seguintes expressões significa x e y?

(a) x ÷ y;

(b) x ⊕ y;

(c) x + y;

(d) xy.

8. Qual das seguintes tabelas de combinação corresponde a A + B?

(a)

A	B	L
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

(b)

A	B	L
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

9. Uma máquina está ligada com uma chave manual LIGA/DESLIGA e uma chave térmica de desligamento. Se a temperatura da máquina se tornar excessivamente alta, a chave térmica desliga a máquina. A máquina pode ser também desligada com a chave manual. Qual das seguintes proposições está certa?

(a) As chaves estão em paralelo ou em ligação OU.

(b) As chaves estão em série ou em ligação E.

10. Seria possível ter um sistema de numeração com base 7, isto é, com raiz 7?

(a) Não;

(b) Sim.

RESPOSTAS PARA O AUTOTESTE

1. (**d**) - A Tabela 15-1 (pág. 340) não vai até o número decimal 17. Porém, se você estudar a seqüência dos números binários, verá que o número seguinte depois de 10.000 será 10.001.

2. (**a**) - No verdadeiro sistema duodecimal você não escreverá os números 10 e 11. Estes são combinações de dígitos inferiores e no sistema duodecimal, você não iria começar a combinar dígitos até atingir o número 12. Portanto, você teria símbolos separados para representar 10 e 11.

3. (**b**) - A descrição em (a) define para um multivibrador. A descrição em (b) define um circuito *flip-flop.*

4. (**a**) - A saída de um circuito *flip-flop R-S* não pode ser determinada se ambas as entradas forem 0 e não pode ser determinada se ambas as entradas forem 1. Isto é uma desvantagem do circuito *flip-flop R-S.* Circuitos mais elaborados – chamados de circuitos *flip-flop J-K* – podem ser usados se esta saída indeterminada causar um problema no circuito.

5. (**a**) - A condição alta – ou condição LIGA – de um circuito *flip-flop* ocorre quando a saída 1 está alta e a saída 0 está baixa. Isso ocorre quando S é 1 e R é 0.

6. (**c**) - A raiz é 2 e os dígitos binários são 0 e 1.

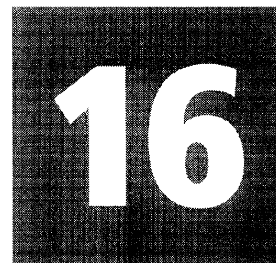
7. (**d**)

8. (**a**) - A expressão $\overline{A + B}$ significa "NÃO A ou B". Não é OU EXCLUSIVO de modo que a saída é 0 quando A ou B (ou ambos) é igual a 1.

9. (**b**) - Se as chaves estiverem em paralelo, você não poderá desligar a máquina, a menos que opere a chave manual no momento em que a máquina estiver superaquecida. Em outras palavras, ambas as chaves deveriam ser abertas para desligar a máquina. Quando as chaves estão em série (na ligação E), qualquer uma delas pode desligar a máquina. Compare os circuitos OU e E das Figuras 15-5a (pág. 344) e 15-6a (pág. 345).

10. (**b**) - Você pode ter um sistema de numeração com qualquer raiz.

Como localizar defeitos em equipamentos eletrônicos?



INTRODUÇÃO

Técnicos que realizam a localização de defeitos e a análise de circuitos em equipamentos eletrônicos devem desenvolver métodos rápidos e eficientes para localizar *falhas* (ou seja, defeitos no sistema). Um dos auxílios mais importantes que um técnico pode ter é uma boa compreensão de como funcionam os circuitos eletrônicos. Sem esta compreensão, o processo de localização de defeitos pode tornar-se um processo por tentativas. Um técnico que entende claramente como um sistema funciona tem melhor probabilidade de localizar rapidamente uma falha quando o sistema não estiver funcionando.

O conhecimento de eletrônica por si não significa poder localizar rapidamente uma falha. A segunda coisa que um técnico precisa ter é um conhecimento de métodos especiais para localização de defeitos. Alguns desses métodos serão discutidos neste capítulo.

Armado de um bom conhecimento básico de circuitos eletrônicos e um conhecimento de métodos de localização de defeitos, o próximo passo que os técnicos devem dar é aprender o máximo possível sobre cada circuito eletrônico com o qual irão lidar. Às vezes um fabricante fornecerá gráficos ou tabelas para localizar falhas. Quando estes não estão disponíveis, os bons técnicos prepararão seus próprios gráficos e tabelas.

A maioria dos assuntos tratados neste livro relaciona-se com métodos de localização de defeitos em circuitos e componentes. Por exemplo, você sabe que um curto-circuito entre o emissor e a base interromperá a condução de um transistor. Esta técnica é usada para determinar se a corrente da base controla a corrente do coletor.

O material para localização de defeitos que você já estudou não será revisto aqui. Em vez disso, você aprenderá os métodos utilizados pelos técnicos para localizar defeitos em sistemas eletrônicos. Diagramas de blocos são usados para explicar este método. Esses diagramas são semelhantes àqueles fornecidos por companhias que fabricam sistemas eletrônicos.

Depois de estudar este capítulo, você poderá responder às seguintes perguntas:

- **Qual é a melhor maneira para localizar uma falha num sistema?**
- **Como analisar um sistema?**
- **Quais são os procedimentos usados para rastreamento e injeção de sinais?**
- **Como a injeção de sinais é usada na localização de defeitos?**
- **Como é usado o rastreamento de sinais na localização de defeitos?**
- **Como localizar um circuito ou um componente defeituoso?**

INSTRUÇÃO

Qual é a melhor maneira para localizar uma falha num sistema?

Existe um método para localizar falhas num sistema que pode ser usado na maioria dos casos: *vá do geral para o específico.* Em outras palavras, o primeiro passo deve ser estudar a operação do sistema completo. Só então, você poderá determinar qual é a unidade com problema. Em seguida, localizar o circuito com problemas dentro da unidade. Finalmente, localizar o componente defeituoso. Nesta discussão definimos um *sistema* como sendo o conjunto completo, enquanto a *unidade* é a parte deste conjunto que realiza uma função

específica. Um *circuito* existe dentro de uma unidade e são formados por *componentes*.

Um automóvel pode ser usado como analogia para tornar mais claras estas definições. O automóvel completo é um sistema. O motor é uma unidade dentro do sistema. O conjunto de ignição é um circuito dentro da unidade e uma vela de ignição é um componente no circuito de ignição.

Como outro exemplo, vamos considerar um sistema de controle numérico que usa fita perfurada para operar uma furadeira. O conjunto completo da entrada da fita perfurada até a saída da furadeira é o sistema. O leitor da fita, que transforma as informações fornecidas pelos furos da fita em sinais elétricos, constitui uma unidade dentro do sistema. Circuitos lógicos são parte do leitor de fita e um resistor num circuito lógico é um componente.

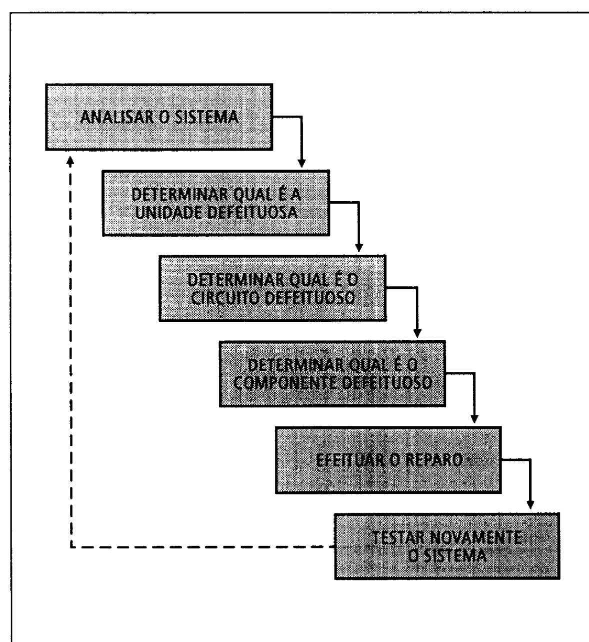


Fig. 16-1: Procedimento para localização de falhas num sistema.

A Figura 16-1 mostra um procedimento lógico para localizar uma falha e fazer um conserto. Conforme indicado no diagrama de blocos, a primeira etapa consiste em analisar o sistema completo. Isso significa verificar a função global. Nesta etapa é importante que os técnicos escutem as reclamações feitas pelos usuários do equipamento. Porém, é também importante não deixar esta informação distraí-los. Muitos minutos valiosos podem ser desperdiçados em localização de defeitos apenas por causa de informações incorretas fornecidas pelo usuário do equipamento. É preciso aprender a prestar bastante atenção à reclamação e, em seguida, verificar você mesmo se a reclamação é correta.

Depois de analisado o sistema completo, a próxima etapa consiste em isolar a unidade defeituosa que está causando o problema. É muito útil aprender os sintomas dos problemas que ocorrem com maior freqüência. Mais uma vez aqui podemos fazer uma analogia. Se um paciente for consultar um médico, com um ferimento provocado por uma bala, não é preciso que o médico faça um exame físico completo. Neste caso, os sintomas são óbvios. O médico pode ir imediatamente para a área que requer atenção.

Uma vez localizada a unidade defeituosa, o técnico deve determinar qual é a melhor maneira de repor o sistema em operação. Às vezes é possível substituir a unidade defeituosa por uma unidade completa nova.

Um bom exemplo disto pode ser encontrado em conserto de televisores. A seção completa de áudio pode estar defeituosa por causa de um resistor defeituoso. Em vez de gastar tempo na casa do freguês para localizar o componente defeituoso, o técnico poderá montar uma nova seção de áudio completa. Em nossa definição, a seção de áudio seria chamada de *unidade*, porém o fabricante chama-a de *módulo*. A Figura 16-2 mostra como um módulo pode ser usado para substituir uma unidade defeituosa num receptor de televisão. O técnico poderá analisar separadamente a unidade defeituosa depois de substituí-la e ter-se certificado de que o sistema funciona corretamente.

A Figura 16-1 mostra que a próxima etapa é a localização do circuito defeituoso. Uma vez realizada essa tarefa, o procedimento para encontrar o componente defeituoso geralmente requer o uso de equipamentos para teste de componentes. Por exemplo volt-ohm-miliamperímetros, provadores de transistores, provadores de válvulas e provadores de capacitância. Você já está familiarizado com estes instrumentos de seu estudo em capítulos anteriores.

Conforme indicado na Figura 16-1, a localização do componente defeituoso não é o fim do trabalho. O componente deve ser consertado ou substituído. Quando o equipamento é feito com circuitos impressos e circuitos integrados, métodos especiais devem ser usados para fazer os consertos. Estes métodos foram discutidos em capítulos anteriores.

A etapa final, conforme indicado na Figura 16-1 consiste em testar novamente o sistema completo. Lembre-se sempre que uma unidade pode operar corretamente na bancada; porém, quando encaixada no sistema,

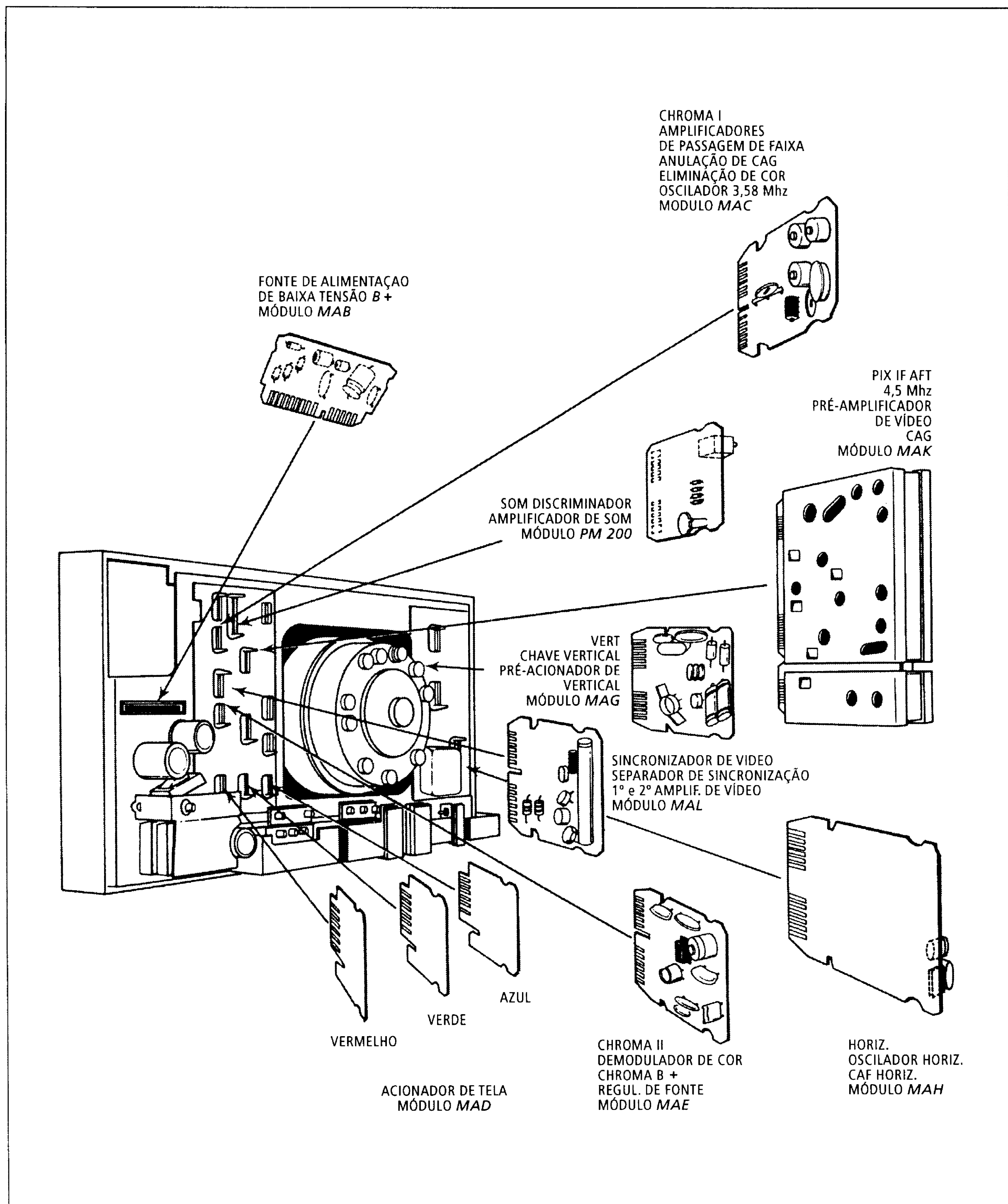


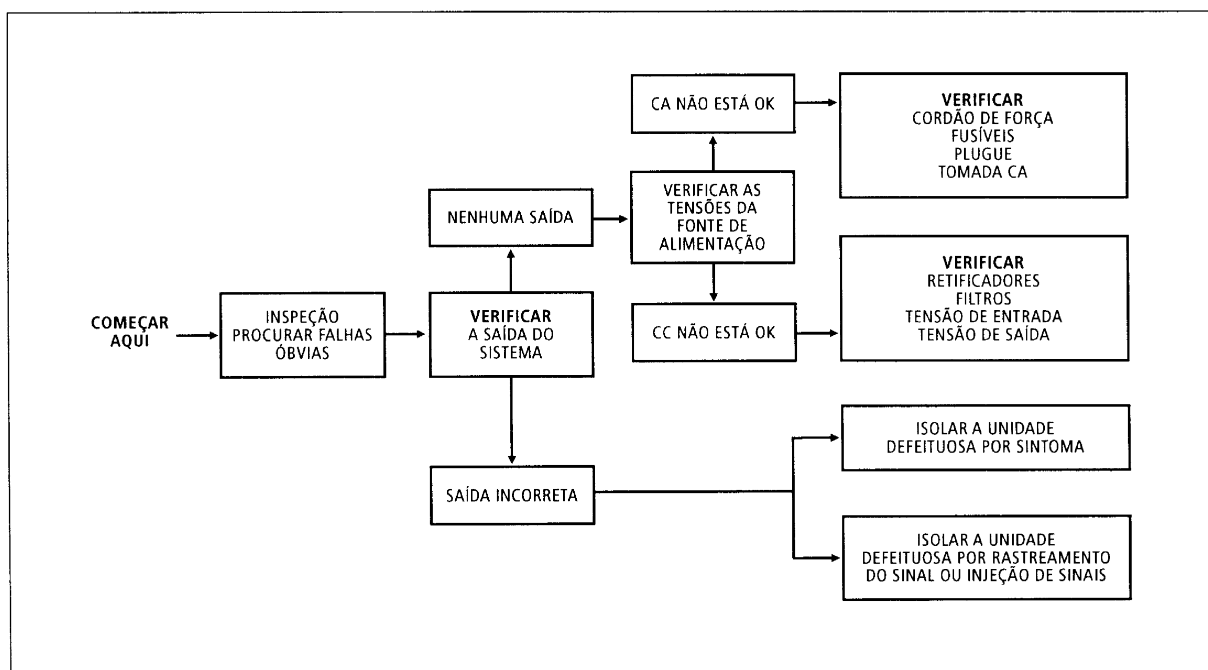
Fig. 16-2: É possível em certos sistemas substituir uma unidade completa por um módulo de encaixe. *(Cortesia da RCA.)*

pode não desempenhar sua função. Um exemplo disto é uma falha na fonte de alimentação. Depois de consertada a fonte de alimentação, pode ser necessário reajustar as tensões para operação correta. Em alguns sistemas, estas tensões podem ser reajustadas somente quando a fonte de alimentação for ligada ao sistema. Isso é necessário para assegurar que as tensões são corretas quando a fonte de alimentação estiver operando sob sua carga normal.

RESUMO

1. Um auxílio muito importante na localização de defeitos num sistema é um bom conhecimento de eletrônica.
2. Além de conhecer eletrônica, é também importante conhecer os métodos especiais usados para localizar defeitos.
3. Um terceiro auxílio muito importante para localizar defeitos é o de aprender o máximo possível sobre o sistema. Isso inclui um estudo da literatura do fabricante.
4. Um método que é usado para localizar um defeito é o de ir do geral para o específico.
5. Reclamações feitas pelos operadores do equipamento podem ser úteis para localização de defeitos.
6. Pela substituição de um módulo, ou unidade, pode ser possível recolocar rapidamente o sistema em funcionamento.
7. O módulo, ou unidade, pode ser consertado depois de ter sido substituído e depois do sistema estar operando corretamente.
8. Um técnico deve ser capaz de localizar o defeito e também de corrigi-lo.
9. A etapa final da localização e correção de defeitos consiste em testar novamente o sistema para certificar-se de que está funcionando como devia.

Fig. 16-3: Procedimento para a análise do sistema.



Como analisar um sistema?

Você já teve uma visão completa do procedimento usado para localização e correção de defeitos. Iremos agora discutir métodos especiais para cada um dos blocos no diagrama da Figura 16-1. Vamos começar por discutir o método de análise do sistema indicado na etapa 1 da Figura 16-1. A Figura 16-3 mostra um diagrama de blocos do procedimento passo-a-passo para analisar um sistema. A primeira etapa recomenda uma inspeção geral. Nesta etapa procure falhas eventuais, como fios quebradiços, pontos queimados e disjuntores disparados. Inspecione todos os plugues e cabos.

Seu olfato pode lhe dizer se um transformador foi superaquecido. Se um resistor estiver queimado ou se um componente foi destruído por excesso de corrente. Se o sistema estiver em operação, fique atento para ruídos de faiscamento ou esfregamento e outros ruídos inusitados no sistema. Em resumo, a primeira etapa para localizar defeitos num sistema é procurar falhas óbvias. Use seus sentidos para localizar a parte do sistema que está com falha.

O diagrama de blocos da Figura 16-3 mostra que a segunda etapa para localizar uma falha no sistema é verificar a saída do sistema. Existem duas possibilidades:

1. O sistema não tem saída.
2. A saída do sistema não está correta.

Vamos supor que foi pedido a um técnico que conserte um receptor de televisão. Em primeiro lugar, o técnico procurará falhas óbvias conforme descrito no primeiro bloco da Figura 16-3. Isso será feito *antes* de aplicar corrente ao aparelho de televisão. Se o técnico vê pontos queimados ou sente os efeitos de um transformador superaquecido, ele *não* ligará o aparelho na tomada. A falha será localizada usando o ohmômetro e os provadores de componentes.

Se a inspeção não demonstrar qualquer falha óbvia, o técnico passará para a etapa 2, onde aplicará corrente ao receptor de televisão e verificará a saída do sistema.

Se não houver saída de qualquer tipo (nenhum som, nenhuma imagem) o técnico deverá procurar a falha numa unidade que afete todas as partes do sistema de televisão.

Porém, se a saída não for correta, o técnico deve poder determinar qual é a unidade defeituosa com base no tipo de saída proporcionada pelo sistema.

A Figura 16-4 mostra dois exemplos de como pode ser localizada uma falha num sistema eletrônico. Um receptor de televisão defeituoso é usado neste exemplo, porém qualquer sistema pode ser analisado com o método descrito aqui. Na Figura 16-4a admite-se que não há saída quando o receptor de televisão for energizado. Em outras palavras, não há som, nem imagem, nem deflexão. A unidade defeituosa é provavelmente a fonte de alimentação de baixa tensão, já que é a única parte do sistema que é comum a todas as unidades mencionadas. A Figura 16-4b mostra o procedimento se houver uma saída e a mesma estiver defeituosa. Neste exemplo, existe imagem mas não há som. O lugar óbvio para iniciar é a seção de áudio, já que a seção de vídeo está funcionando. Observe também que todas as seções que amplificam o sistema de vídeo devem estar funcionando.

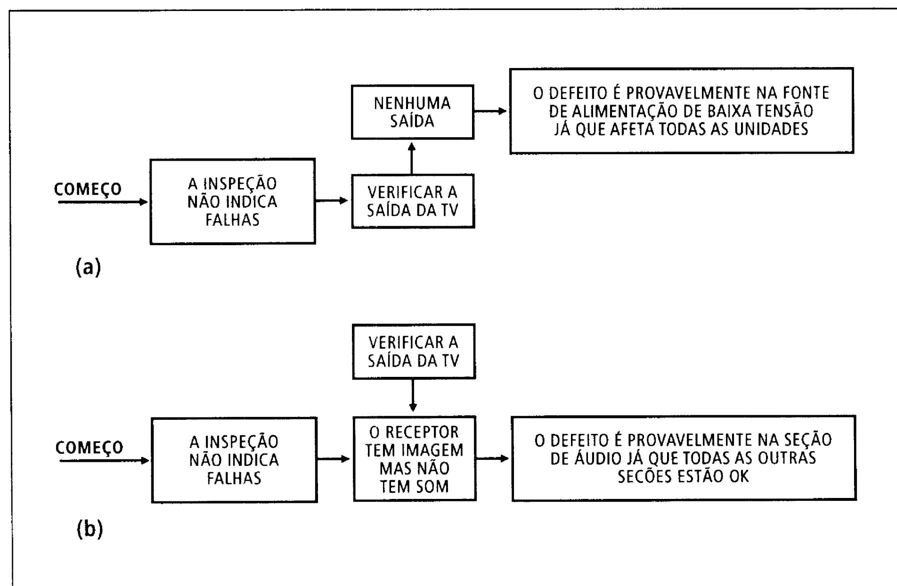
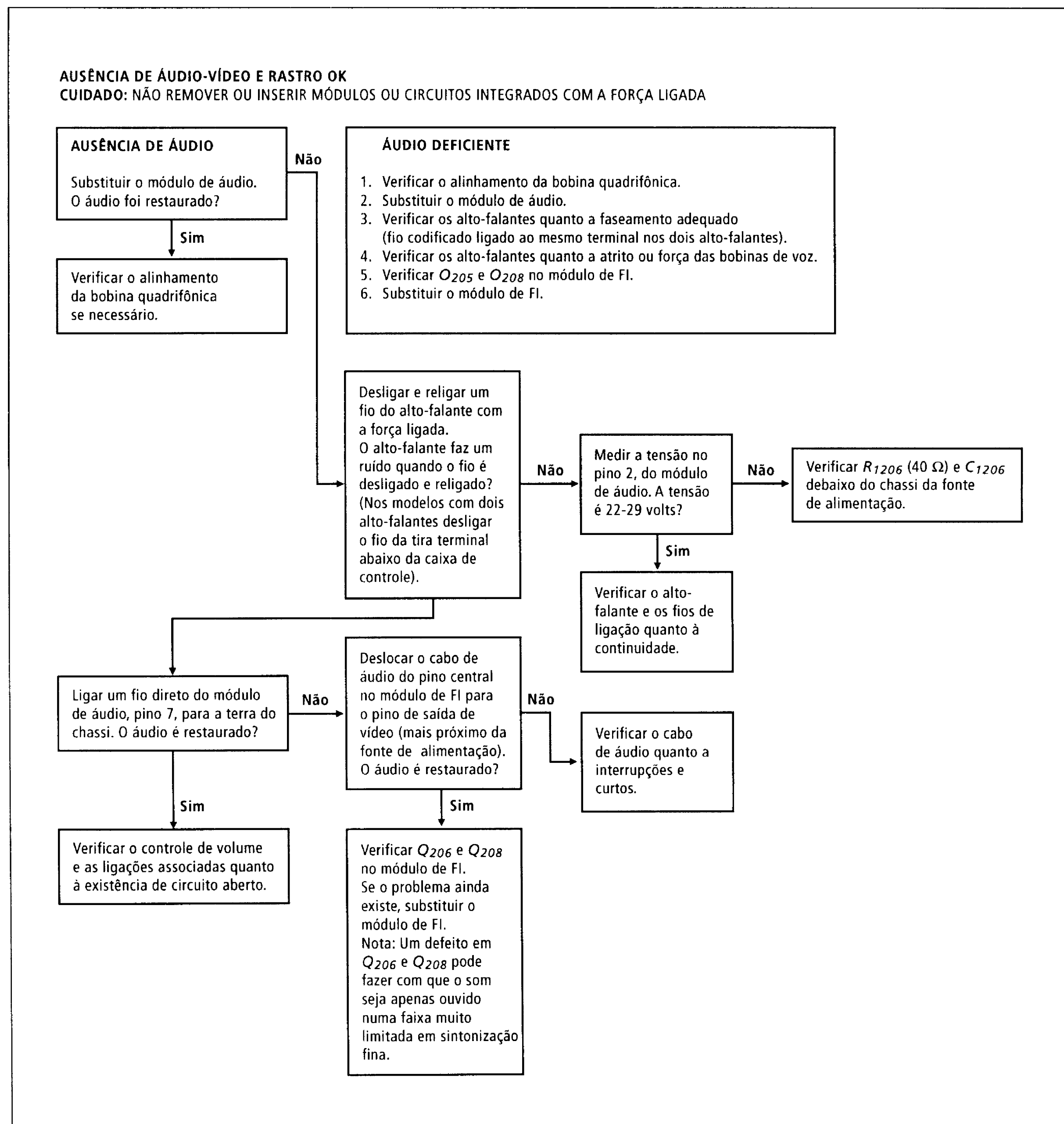


Fig. 16-4: Localização de um defeito num sistema de TV: (**a**) quando não há saída alguma; (**b**) quando a saída é incorreta.

Quando um técnico tem experiência com um sistema, ele aprenderá a reconhecer os sintomas que acompanham uma falha. Por exemplo, a ausência de som, imagem e deflexão significa, para um técnico de televisão "problema na fonte de alimentação" (ou na entrada de força).

Os fabricantes fornecem freqüentemente uma tabela para localização de defeitos ou lista de sintomas. A Figura 16-5 mostra uma tabela típica de localização de defeitos para um sistema de televisão sem áudio.

Fig. 16-5: Tabela típica para localização de defeitos. *(Cortesia da General Eletric.)*



Quais são os procedimentos usados para Rastreamento e Injeção de Sinais?

Ao inspecionar o sistema completo, você determinará muito freqüentemente qual é a unidade defeituosa. Isto é feito pelo estudo dos sintomas e o uso de alguma lógica básica. Você diz para si mesmo: "Não tem força – vamos verificar a fonte de alimentação", ou ,"não tem som – vamos verificar a seção de áudio".

Em raros casos, a unidade defeituosa poderá ser localizada desta forma. Um exemplo será fornecido com referência a um receptor de televisão. Mais uma vez, é preciso observar que você está estudando métodos para localizar um defeito em sistemas eletrônicos. Estamos usando o receptor de televisão como exemplo. Porém, o procedimento é o mesmo para *qualquer* sistema eletrônico.

Vamos supor que sua análise do sistema mostra que não há nem som nem imagem num receptor de televisão. Você poderá talvez lembrar que receptores interpretadores amplificam tanto o sinal de áudio como o sinal de vídeo em alguns estágios. Isso está indicado na Figura 16-6.

Se não houver nem som nem vídeo, a falha pode ser em qualquer unidade que tenha estes sinais. Isso inclui a antena, o sintonizador, os estágios de freqüência intermediária, o detector e – em alguns receptores – o primeiro amplificador de vídeo.

A etapa seguinte consiste em determinar qual destas unidades está com defeito. Um dos dois métodos indicados a seguir pode ser usado. Estes são rastreamento do sinal e injeção de sinais. Estes procedimentos são usados quando é fornecida energia, porém não há saída correta do sistema.

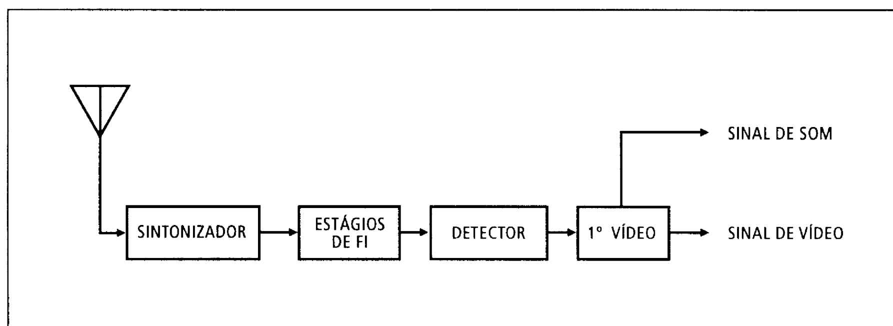


Fig. 16-6: Os sinais de som e de vídeo são amplificados nestas unidades.

Como a Injeção de Sinais é usada na Localização de Defeitos?

Para o método de injeção de sinais você começa na saída do sistema trabalhando em direção à entrada. Você injeta os sinais adequados de operação em cada unidade. Este procedimento está indicado em forma de diagrama de blocos na Figura 16-7. Ele é parte de um sistema de televisão que está sendo testado.

A saída do tubo de imagem é também uma saída importante do sistema. A primeira etapa consiste em injetar um sinal na entrada do tubo de imagem no ponto *a* da Figura 16-7. Se o tubo de imagem estiver funcionando, o sinal deve produzir uma marca na tela. Se o tubo de imagem não estiver funcionando, a injeção de um sinal no ponto *a* não produzirá uma marca na tela.

Se o tubo de imagem estiver funcionando, a etapa seguinte consiste em injetar um sinal no ponto *b*. Se isto não produzir uma marca na tela, o problema deve ser no amplificador de vídeo.

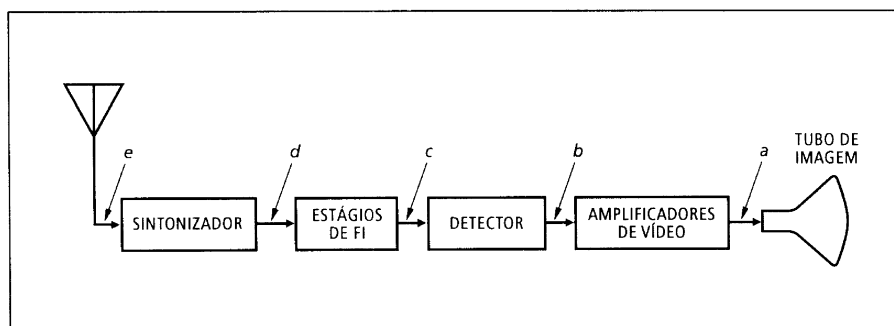


Fig. 16-7: Etapas na injeção de sinais.

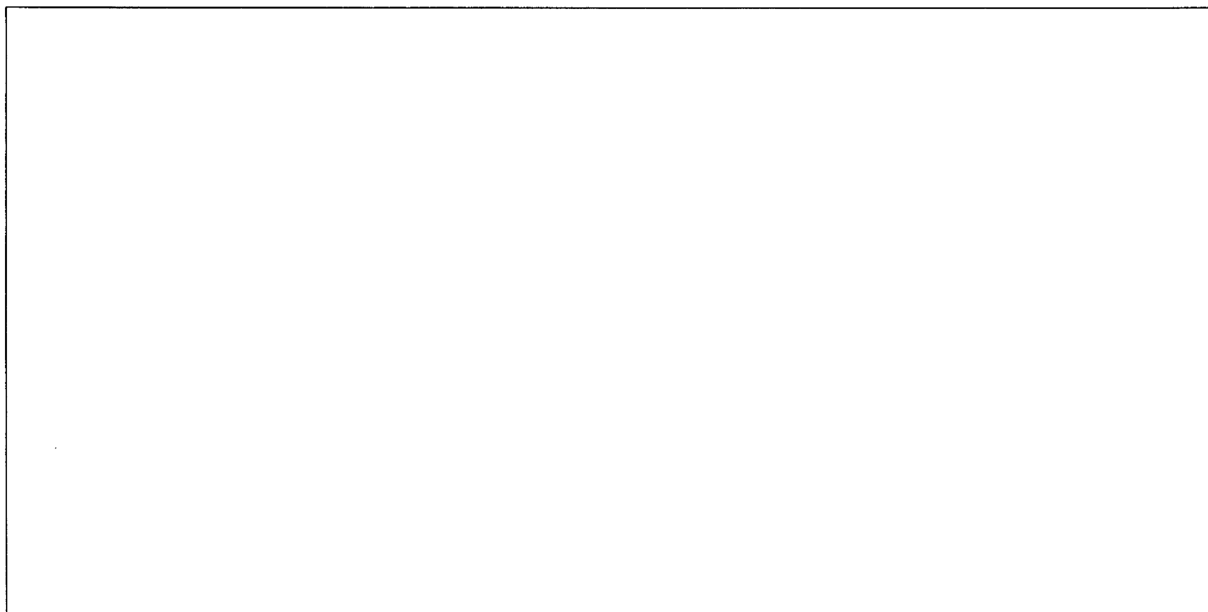


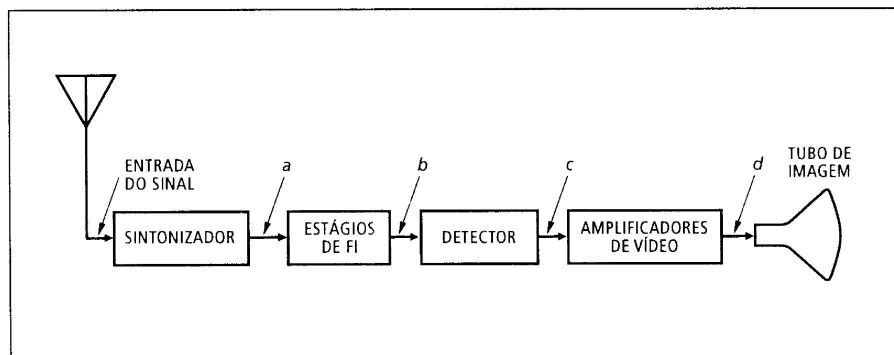
Fig. 16-8: Um gerador de áudio para injeção de sinais. *(Cortesia da Heath Company.)*

Se aparecer uma marca na tela, a etapa seguinte consiste em injetar um sinal no ponto *c*. Você continua fazendo isto, passo-a-passo, até atingir o ponto em que não haverá saída quando você injetar um sinal. Isso lhe indicará qual é a unidade que está defeituosa.

Vamos supor, por exemplo, que você obtém uma marca sobre a tela quando injetar um sinal no ponto *c*, porém você não obtém uma marca quando injetar um sinal no ponto *d*. Isso significa que o problema deve estar entre os pontos *c* e *d*.

Para realizar o teste de injeção de sinais descrito acima, você deve injetar o sinal adequado em cada ponto. Os técnicos usam geradores de sinais para esta finalidade. A Figura 16-8 mostra um tipo de gerador de sinais.

Fig. 16-9: Etapas no rastreamento dos sinais.



Como o Rastreamento de Sinais é usado na Localização de defeitos?

O método de rastreamento de sinais está indicado na Figura 16-9. Neste caso, você começa no ponto *a* na saída do sintonizador. Usando um osciloscópio (ou rastreador de sinais) você determina se há uma saída. Se a saída do sintonizador for correta, a etapa seguinte é passar para a saída do estágio de freqüência intermediária no ponto *b*. Este procedimento continua rastreando o sinal desde sua entrada até a saída do sistema.

Se o sistema tiver uma unidade defeituosa, o sinal será perdido em algum ponto entre a entrada e a saída. Vamos supor, por exemplo, que exista uma saída no ponto *b*; porém não há qualquer saída no ponto *c*. Obviamente, então, o problema está entre os pontos *b* e *c* e o circuito detector deve estar defeituoso.

Como localizar um circuito ou um componente defeituoso?

Quando você tiver localizado a unidade defeituosa no sistema, a etapa seguinte consiste em localizar o circuito defeituoso e, em seguida, o componente defeituoso. Isto é geralmente feito por medições de tensão.

Os fabricantes geralmente fornecem as informações necessárias para a análise dos circuitos por meio de medições de tensão e resistência. Um valor incorreto da tensão ou da resistência do circuito pode ser uma indicação de um componente defeituoso.

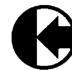
Nos capítulos anteriores, você aprendeu como as medições de tensão são usadas na localização de defeitos. Você reverá estas medições na seção de revisão programada e na seção de experiências deste capítulo.

RESUMO

1. Um bom lugar para iniciar a análise de um sistema é procurar por falhas óbvias, locais queimados e fios quebrados.
2. Se o sistema estiver em operação, mas a saída não for correta, pode ser possível localizar a unidade defeituosa estudando o tipo de saída do sistema.
3. Os fabricantes fornecem freqüentemente para os técnicos, material para localização de defeitos. Isto possibilita a localização rápida dos defeitos.
4. Quando um sistema não está funcionando corretamente, a unidade defeituosa pode ser localizada por injeção ou rastreamento de sinais.
5. Depois de localizada a unidade defeituosa, o circuito ou o componente defeituoso pode ser encontrado.

PERGUNTAS DE REVISÃO PROGRAMADA

Parte do material desta seção de revisão programada é tirada de capítulos anteriores. Todas as perguntas são relacionadas com localização de defeitos e análise de circuitos.



(As instruções para usar esta seção de Revisão Programada são fornecidas no Capítulo 1 / pág. 8.)

Aqui iremos rever os conceitos mais importantes deste capítulo. Se você tiver entendido o material deste capítulo, poderá progredir facilmente nesta seção. Não pule este material, porque nele apresentamos algumas informações teóricas adicionais.

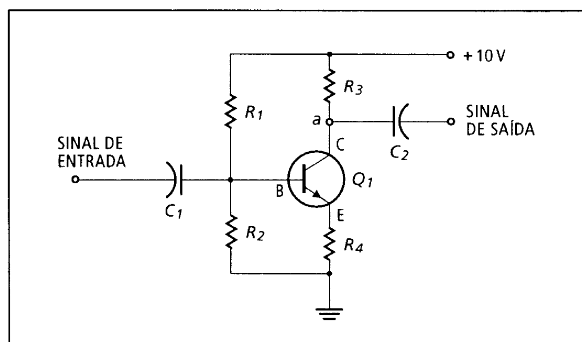


Fig. 16-10: Circuito amplificador com transistor.

1 **No circuito da Figura 16-10, a tensão no ponto *a* foi medida e encontrou-se o valor de +10 volts em relação à terra. Qual das seguintes proposições é correta?**

- A **O transistor Q_1 não está conduzindo** (passe para o item 17).
- B **O resistor R_3 está aberto** (passe para o item 9).
- C **Essa é a tensão adequada para o ponto *a*** (passe para o item 19).

2 *Se sua resposta para a pergunta no item 17 é A, está errada. Seria uma resposta correta se o sistema fosse um amplificador de áudio, porque a pergunta não diz de qual sistema se trata. Muitos sistemas não possuem amplificadores de áudio.* Passe para o item 3.

3 *A resposta correta para a pergunta no item 17 é B. A fonte de alimentação é comum a todas as partes de um sistema. Se não houver saída de um sistema, a causa é provavelmente a fonte de alimentação.*

Aqui está a próxima pergunta:

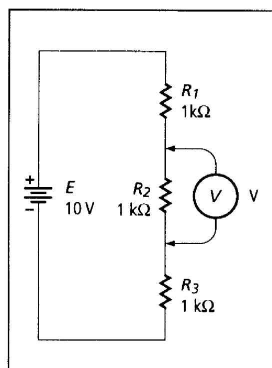


Fig. 16-11: Qual deveria ser a leitura do voltímetro?

No circuito da Figura 16-11, o resistor R_2 está aberto. O voltímetro deveria ler aproximadamente:

A **0 volt**
(passe para o item 21).
B **10 volts**
(passe para o item 23).

4 *A resposta correta para a pergunta no item 23 é A. Um sistema é um "pacote eletrônico" completo. Isto inclui um estágio de entrada, um certo número de unidades e um estágio de saída.*

O sinal de entrada está geralmente numa forma que não pode ser usada diretamente por seres humanos. A entrada de rádio-freqüência para um receptor de rádio é um exemplo de sinal de entrada.

A saída do sistema está numa forma que pode ser usada para operar máquinas ou pode ser usada diretamente por seres humanos. Usando um rádio como exemplo a saída é o som.

As unidades são freqüentemente chamadas de estágios, que modificam o sinal de entrada amplificando-o. Num rádio, os exemplos são o misturador, o estágio de rádio-freqüência, o detector e o amplificador de áudio. Aqui está a próxima pergunta:

Você testará o sistema de áudio da Figura 16-12 por injeção de sinais. A unidade marcada como *B* está realmente defeituosa. Você não obterá um som de saída do alto-falante quando o sinal for injetado

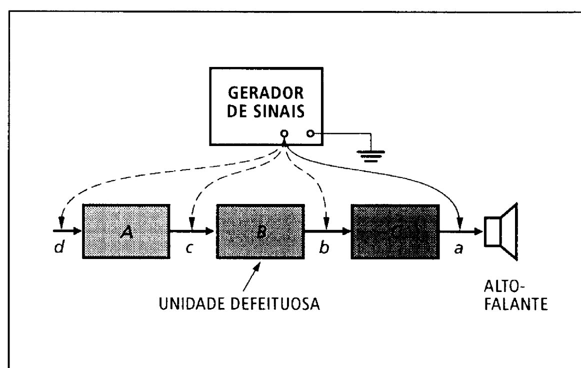


Fig. 16-12: Montagem do teste para injeção de sinais.

A **No ponto *b***
(passe para o item 24).
B **No ponto *c***
(passe para o item 22).

5 *A resposta correta para a pergunta no item 22 é B. O sistema deve ser completamente testado novamente depois de realizados ajustes e reparos importantes.* Aqui está a próxima pergunta:

Para injetar um sinal num estágio de freqüência intermediária de um receptor você deve usar:

A **Um gerador de rádio-freqüência**
(passe para o item 10).
B **Um amplificador de freqüência intermediária**
(passe para o item 13).

6 *Se sua resposta para a pergunta no item 23 é B, está errada. Um sintonizador de TV é parte de um receptor de TV, que é um sistema.* Passe para o item 4.

7 *A resposta correta para a pergunta no item 25 é B. Dois casos onde o emissor não é 0 volt estão indicados na Figura 16-13. Onde houver um resistor de emissor ligado entre o emissor e a terra, a corrente do emissor irá causar uma queda de tensão sobre este resistor. Isso está indicado na Figura 16-13a. Um outro exemplo é quando o coletor está aterrado e a tensão contínua de operação é aplicada ao emissor.*

Isso está indicado na Figura 16-13b. (Seguidor de emissor.)

É importante você saber quais as tensões que devem ser esperadas em diversos pontos num circuito. Se você não souber de quanto deveria ser a tensão, você não poderá dizer se a tensão que você está lendo é correta ou incorreta.

Aqui está a próxima pergunta:

Qual das seguintes condições poderia quase certamente destruir um transistor num circuito amplificador?

A **Um curto-circuito entre a base e o coletor** (passe para o item 11).

B **Desligamento do terminal da base** (passe para o item 12).

8 *Se sua resposta para a pergunta no item 25 é A, está errada. Você ligou, em suas experiências, circuitos nos quais o emissor não está em um potencial contínuo de terra de 0 volt.*
Passe para o item 7.

9 *Se sua resposta para a pergunta no item 1 é B, está errada. Se R_3 estiver aberto, a tensão no ponto a será 0 volt em relação à terra.*
Passe para o item 17.

10 *A resposta correta para a pergunta no item 5 é A. Um gerador de sinais de rádio-freqüência pode produzir sinais na faixa da freqüência intermediária. O sinal de freqüência intermediária deve ser modulado com um sinal de áudio. Lembre-se que um sinal de freqüência intermediária não passa através de um estágio detector. O detector só deixa passar a parte de áudio – ou a parte modulada do sinal.* Aqui está a próxima pergunta:

A antena é parte de um sistema de televisão?

A **Sim** (passe para o item 25).

B **Não** (passe para o item 27).

11 *A resposta correta para a pergunta no item 7 é A. Se a base for colocada em curto-circuito com o coletor, haverá uma grande corrente de base. Isto, por sua vez, causará maiores correntes de emissor e de coletor. Estas altas correntes fluindo num transistor irão geralmente destrui-lo. Essa é uma boa razão para não realizar operações de solda num circuito transistorizado com tensão aplicada. O ferro de soldar poderia acidentalmente colocar em curto a base de um transistor com seu coletor e destruir o transistor.* Aqui está a próxima pergunta:

Ao procurar uma falha num circuito eletrônico, um bom lugar para iniciar é:

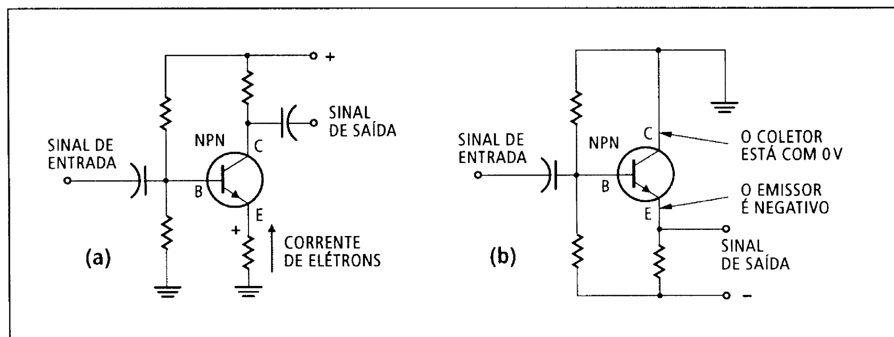
A **Substituir todos os resistores já que são as fontes mais prováveis de problemas** (passe para o item 20).

B **Procurar por falhas óbvias e, em seguida, verificar a saída do sistema para sintomas** (passe para o item 26).

12 *Se sua resposta para a pergunta no item 7 é B, está errada. Se você desligar o terminal da base de um transistor, não haverá corrente emissor-coletor. Em outras palavras, o transistor será desligado. Não será destruído.*
Passe para o item 11.

13 *Se sua resposta para a pergunta no item 5 é B, está errada. Um amplificador de freqüência intermediária não produz um sinal. Sua tarefa é de amplificar um sinal de freqüência intermediária. Portanto, não pode ser usado para injetar um sinal.* Passe para item 10.

Fig. 16-13: Dois circuitos nos quais a tensão contínua do emissor não é 0 volt:(**a**) a tensão do emissor é positiva em relação à terra:(**b**) a tensão do emissor é negativa em relação à terra.



14 *Se sua resposta para a pergunta no item 26 é A, está errada. Uma ponta de teste para circuitos lógicos não é usada para medir uma queda de tensão.* Passe para o item 15.

15 *A resposta correta para a pergunta no item 26 é A. Um voltímetro de baixa resistência sobre uma resistência de 1 megaohm reduzirá a resistência e portanto reduzirá o valor da tensão medida. Você deve conhecer os limites de seu aparelho de teste de modo que possa usar o equipamento para localização de defeitos.* Aqui está a próxima pergunta:

Quando um transistor de silício de potência média está conduzindo corrente do emissor para o coletor, a tensão emissor-base deveria ser

.... **volts**

Passe para o item 28.

16 *Se sua resposta para a pergunta no item 26 é B, está errada. Um voltímetro de baixa resistência não pode ser usado para medir uma tensão num circuito de alta resistência.* Passe para o item 15.

17 *A resposta correta para a pergunta no item 1 é A. Quando Q_1 conduz através do resistor de carga R_3, ocorre uma queda de tensão sobre aquele resistor. A tensão no ponto a deve ser inferior a 10 volts. Já que não há queda de tensão sobre R_3, Q_3 não deve estar conduzindo.* Aqui está a próxima pergunta:

Se não houver saída de qualquer tipo de um sistema, uma causa provável seria:

[A] **O amplificador de áudio** (passe para o item 2).
[B] **A fonte de alimentação** (passe para o item 3).

18 *Se sua resposta para a pergunta no item 22 é A, está errada. Depois do equipamento ter sido consertado, é muito importante testar novamente o sistema.* Passe para o item 5.

19 *Se sua resposta para a pergunta no item 1 é C, está errada. A tensão no ponto a deve ser menor que a tensão de alimentação.* Passe para o item 17.

20 *Se sua resposta para a pergunta no item 11 é A, está errada. Em primeiro lugar, você não deve iniciar a localização de defeitos substituindo componentes. Também, não é certo que os resistores são a causa mais provável de problemas em sistemas eletrônicos.*
Passe para o item 26.

21 *Se sua resposta para a pergunta no item 3 é A, está errada. O voltímetro indicará aproximadamente 10 volts.* Passe para o item 23.

22 *A resposta correta para a pergunta no item 4 é B. Quando um gerador de sinais é usado para injetar um sinal de áudio no ponto b, será ouvido um som no alto-falante. Quando o sinal de áudio é injetado no ponto c, não se ouvirá som algum no alto-falante. Isso indica para você que o problema está entre os pontos b e c. Em outras palavras, o problema está na unidade B.* Aqui está a próxima pergunta:

Qual das seguintes operações é a etapa final na localização de defeitos?

[A] **Consertar o circuito substituindo o componente** (passe para o item 18).
[B] **Testar novamente o sistema** (passe para o item 5).

23 *A resposta correta para a pergunta no item 3 é B. A resistência do voltímetro é geralmente muito maior que 1 kilohm. Desta forma, para fins práticos, quase todos os 10 volts aparecerão sobre o voltímetro e a leitura do voltímetro será de cerca de 10 volts.* Aqui está a próxima pergunta:

Usando o termo sistema, conforme definido neste capítulo, qual dos seguintes conjuntos é um sistema?

[A] **Um receptor de rádio** (passe para o item 4).
[B] **Um sintonizador de televisão** (passe para o item 6).

24 *Se sua resposta para a pergunta no item 4 é A, está errada. Quando você injetar um sinal no ponto c, não irá ouvir um som de saída no alto-falante. O sinal não pode passar através da unidade defeituosa B.* Passe para o item 22.

25 *A resposta correta para a pergunta no item 10 é A. A antena de transmissão converte sinais elétricos em ondas de rádio (são freqüentemente chamadas de ondas de rádio, apesar de serem, de fato, sinais de televisão). A antena de recepção converte as ondas em sinais elétricos para operar os circuitos do receptor.* Aqui está a próxima pergunta:

O emissor de um transistor precisa estar no potencial contínuo da terra?

A **Sim** (passe para o item 8).
B **Não** (passe para o item 7).

26 *A resposta correta para a pergunta no item 11 é B. Antes de você energizar um sistema eletrônico (isto é, antes de ligar a força), procure por defeitos óbvios. Use seus sentidos.*

Se não houver falhas óbvias, você deve energizar o sistema. Às vezes, você pode dizer imediatamente qual é a unidade defeituosa observando a saída do sistema. Aqui está a próxima pergunta:

Para medir a queda de tensão contínua sobre um resistor de 1 megaohm, você deveria usar:

A **Um voltímetro de alta resistência** (passe para o item 15).
B **Um voltímetro de baixa resistência** (passe para o item 16).
C **Uma ponta de teste para circuitos lógicos** (passe para o item 14).

27 *Se sua resposta para a pergunta no item l0 é B, está errada. A antena de transmissão de televisão é absolutamente necessária para irradiar o sinal. A antena de recepção é necessária para transformar as ondas transmitidas em sinais elétricos.* Passe para o item 25.

28 *A resposta para o item 15 é cerca de 0,7 volt. Os técnicos medem esta tensão para localizar defeitos num circuito transistorizado. Esta é uma maneira de verificar se o transistor está conduzindo.*

Você completou agora as perguntas de revisão programada. O próximo passo consiste em colocar algumas destas idéias em prática em experiências de laboratório. Passe para a seção de experiências deste capítulo.

EXPERIÊNCIAS

(A experiência descrita nesta seção pode ser realizada na placa de circuitos descrita no Anexo C ou numa montagem semelhante de laboratório.)

■ FINALIDADE

O temporizador 555 pode ser usado como oscilador de áudio. Ele produz um sinal de saída na faixa de áudio, e este sinal pode ser usado para fins de injeção de sinais.

O capacitor é uma parte importante de uma ponta injetora de sinais. Durante o processo de injeção de sinais, a ponta pode tocar num ponto onde haja uma tensão contínua como, por exemplo, a placa de um circuito de válvulas ou tocar no coletor de um transistor. Isso colocaria um alto valor de tensão contínua sobre a ponta. O capacitor impede a tensão contínua de destruir o circuito de saída do gerador de sinais. Você irá verificar que a maioria dos geradores de sinais possuem um *capacitor de isolamento* na ponta de teste ou no circuito de saída.

Você poderá lembrar de seu estudo sobre fontes de alimentação e amplificadores de potência, que um circuito Darlington é usado quando é necessário ter alto ganho e alta potência de saída. Agora, você ligará um amplificador Darlington e irá usá-lo como amplificador de potência de áudio.

Nesta experiência você irá ligar um temporizador 555 e mostrar que está gerando um sinal de áudio, ligando sua saída a um alto-falante através de um amplificador de áudio. Em seguida, você utilizará o temporizador 555 como sinal de teste através do amplificador de áudio.

MONTAGEM DO TESTE

Todos os circuitos nesta experiência irão obter sua tensão contínua de operação da fonte de alimentação de corrente contínua indicada na Figura 16-14. A Figura 16-14a mostra o diagrama esquemático e a Figura 16-14b mostra o diagrama chapeado. Você poderá reconhecer isso como sendo um circuito retificador em ponte.

A Figura 16-15 mostra a montagem do teste para ligar o temporizador 555 como oscilador de áudio. A Figura 16-15a mostra o diagrama esquemático e a Figura 16-15b mostra o diagrama chapeado.

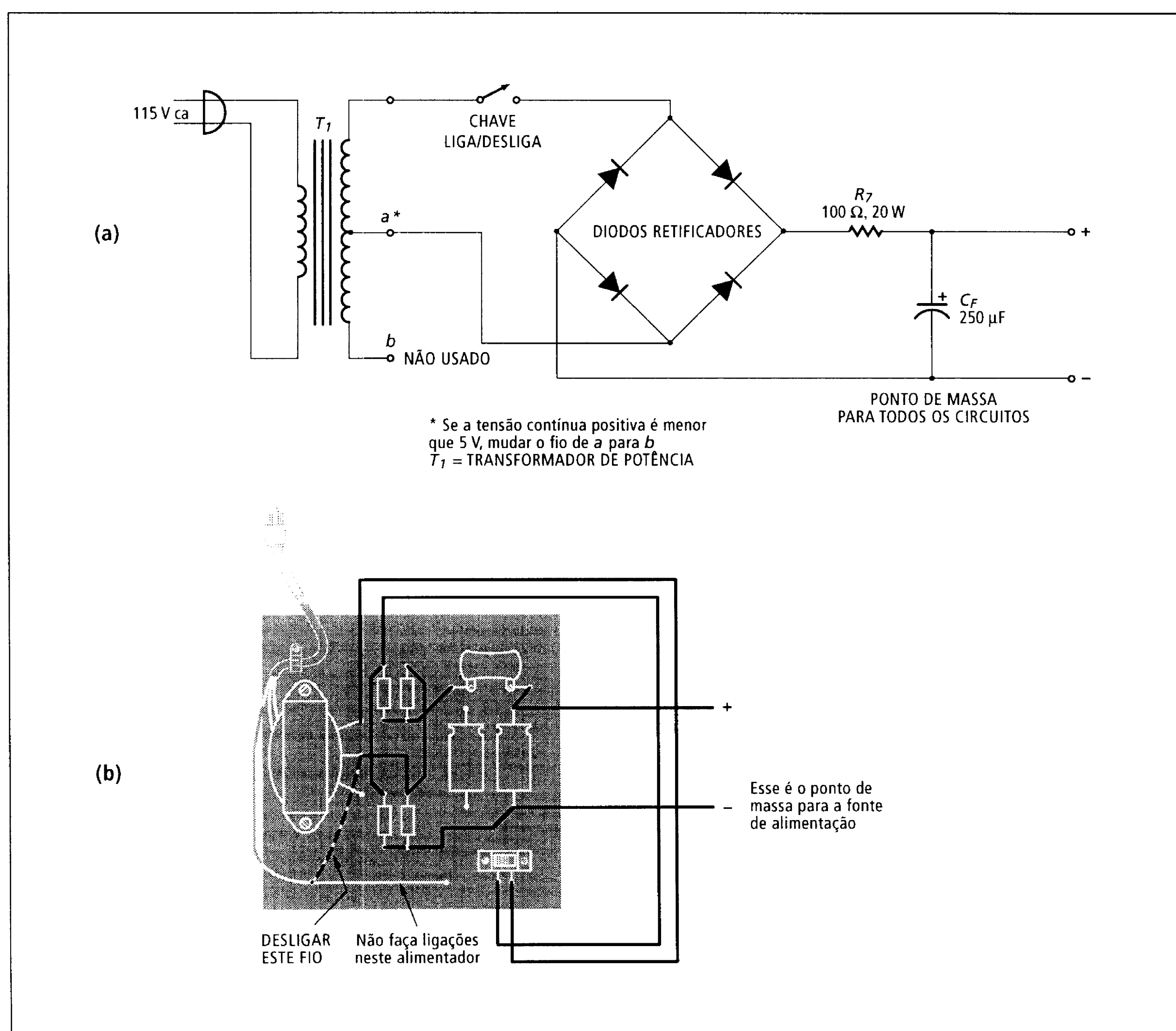
A Figura 16-16 mostra o amplificador Darlington. A Figura 16-16a mostra o diagrama esquemático e a Figura 16-16b mostra o diagrama chapeado.

A Figura 16-17 mostra a montagem do teste para usar o temporizador 555 para injetar um sinal no amplificador Darlington. Observe que a Figura 16-17a mostra o diagrama esquemático e a Figura 16-17b mostra o diagrama chapeado.

PROCEDIMENTO

☐ *Etapa 1:* Ligar a chave do circuito da fonte de alimentação indicada na Figura 16-14.

Fig. 16-14: Fonte de alimentação de corrente contínua para a experiência: (**a**) diagrama esquemático; (**b**) diagrama chapeado.



☐ *Etapa 2:* Medir a tensão contínua sobre os terminais de saída da fonte de alimentação. Anotar o valor.

.... **volts**

Esta tensão deve ser entre 5 e 10 volts.

☐ *Etapa 3:* Desligar a chave da fonte de alimentação. Ligar o circuito do temporizador da Figura 16-15 à fonte de alimentação no ponto *a* e no ponto de massa (Figura 16-17). Certifique-se de que a chave da fonte de alimentação está em posição DESLIGA enquanto você fizer a ligação para o temporizador 555. Isto significa que não haverá tensão contínua sobre os terminais quando você ligar os circuitos de estado sólido para a fonte de alimentação.

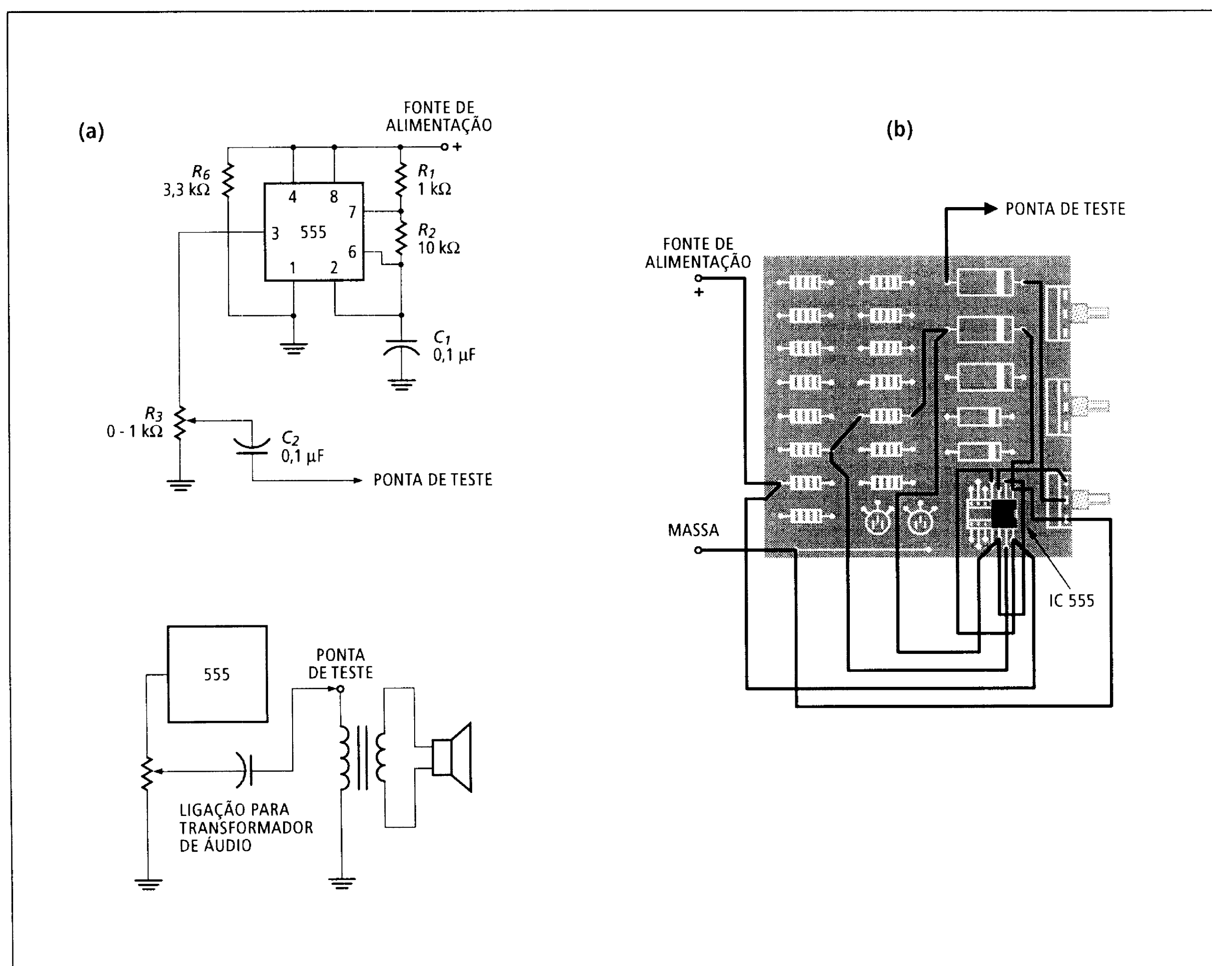
☐ *Etapa 4:* Ligar a ponta de teste de áudio diretamente para o transformador de saída. A conexão está indicada no anexo da Figura 16-15a.

☐ *Etapa 5:* Ligar a chave da fonte de alimentação. Você está ouvindo um som no alto-falante?

.... **Sim ou Não**

Você deveria ouvir uma saída de áudio no alto-falante.

Fig. 16-15: Gerador para sinais de teste de áudio: (a) diagrama esquemático: (b) diagrama chapeado.



☐ *Etapa 6:* Ajustar o resistor variável R_6 e observar que o volume do som varia. O resistor variável serve como controle de volume neste circuito.

☐ *Etapa 7:* Ajustar o resistor variável R_6 para a posição DESLIGADO. Essa é uma etapa importante. Quando você injeta o sinal na entrada do amplificador Darlington, o sinal será amplificado. É muito importante começar com a intensidade mínima do sinal, de modo a não sobrecarregar o amplificador. Lembre-se que a injeção de sinais envolve a injeção de sinais em pontos onde haja mais e mais ganho. De modo que você deve reduzir continuamente a intensidade do sinal injetado conforme você vai passando de ponto para ponto. Desligar a chave da fonte de alimentação.

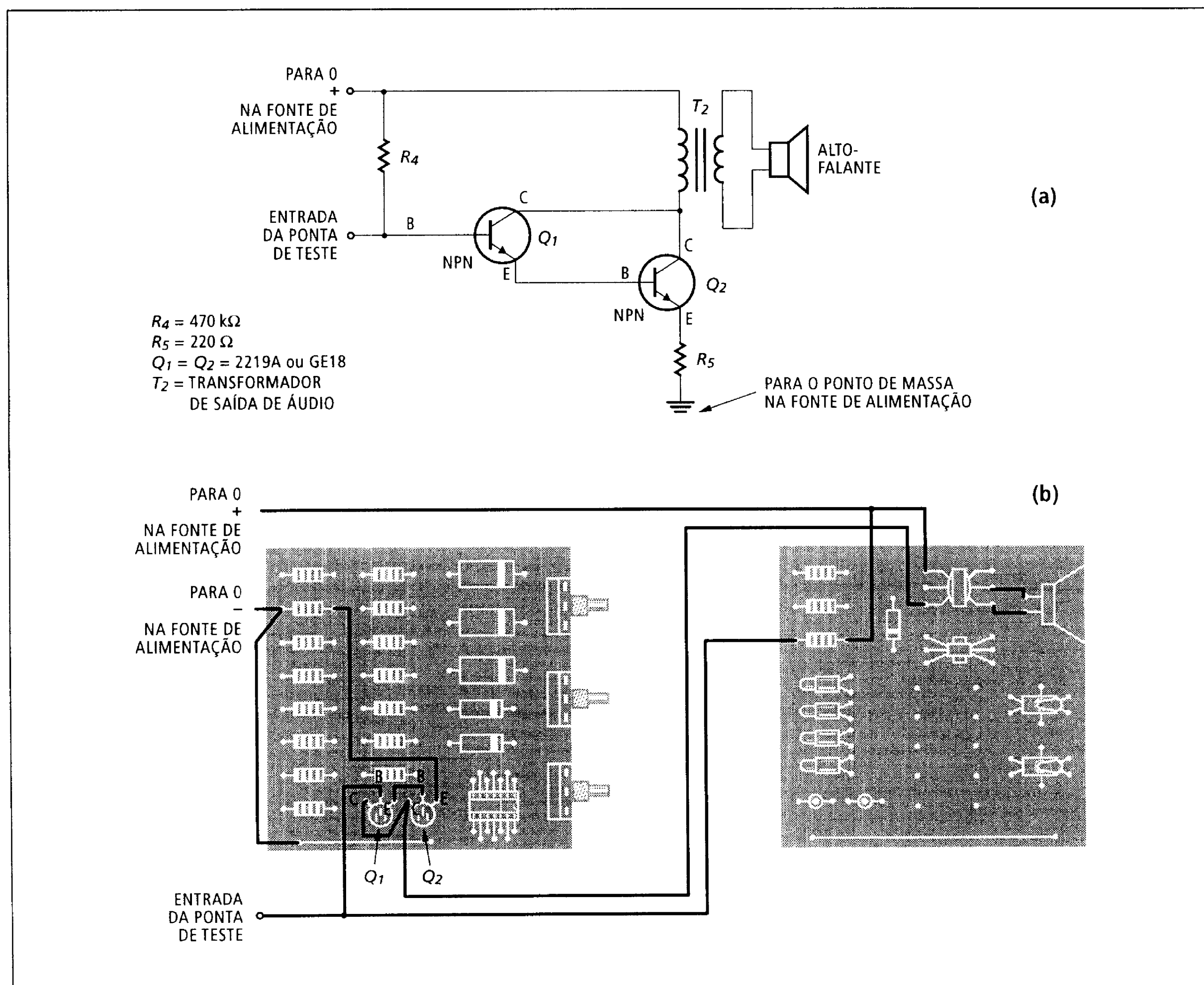
☐ *Etapa 8:* Ligar o amplificador Darlington para a fonte de alimentação conforme indicado na Figura 16-16. Ligar a fonte de alimentação.

☐ *Etapa 9:* Tocar o terminal de entrada do amplificador Darlington com a ponta de uma chave de fenda. Escutar cuidadosamente para ver se existe algum som no alto-falante. Você está ouvindo algum som?

.... **Sim ou Não**

Em muitos circuitos, a ponta de uma chave de fenda pode ser usada para injetar um sinal. A lâmina

Fig. 16-16: Amplificador de potência de áudio Darlington:(**a**) diagrama esquemático; (**b**) diagrama chapeado.

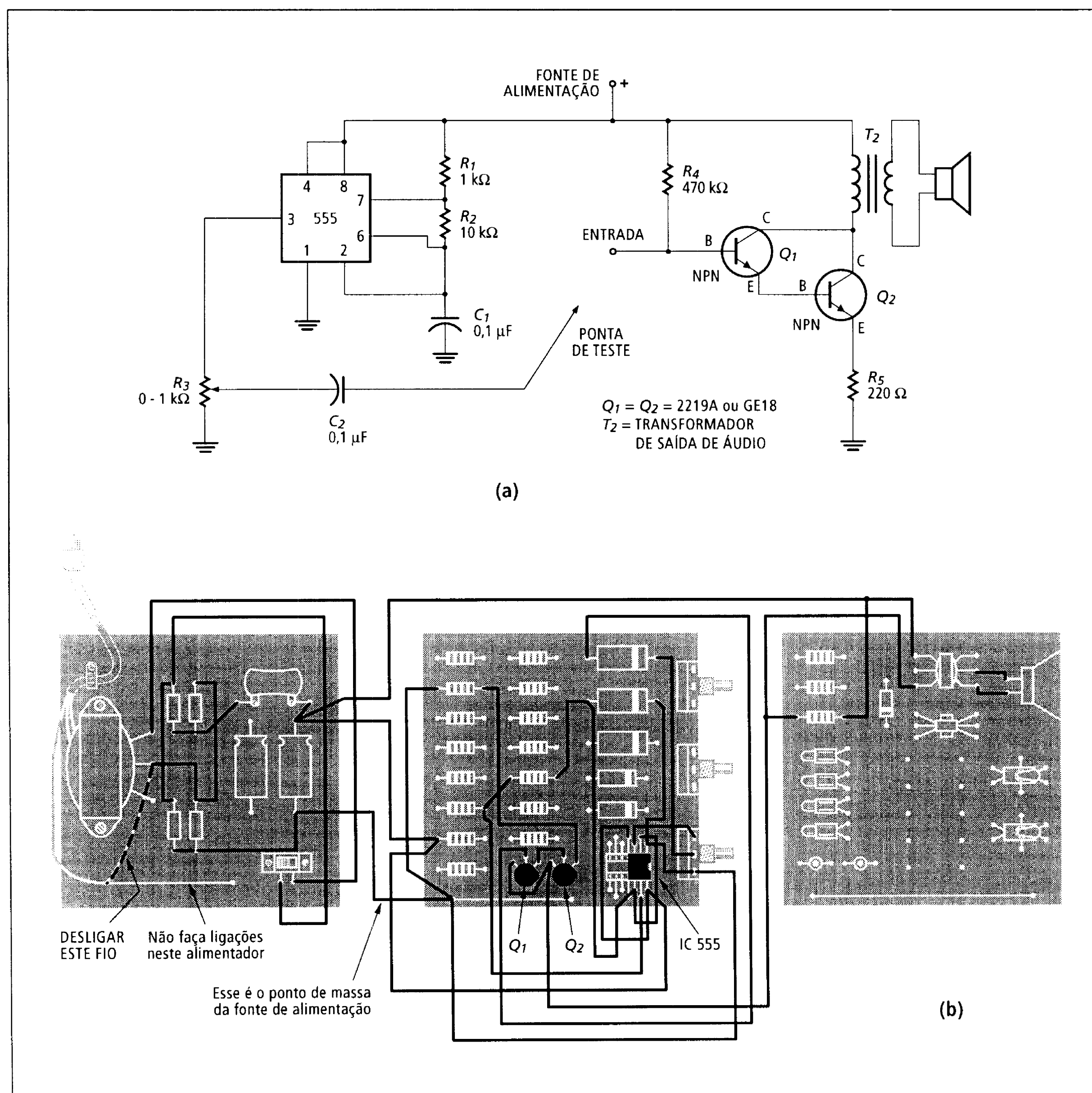


metálica apanha sinais do equipamento elétrico. Estes sinais são injetados dentro do circuito.

Da mesma forma, a lâmina pode ter uma carga estática – ou seja, pode ser ligeiramente positiva ou negativa em relação ao terminal de entrada. Isso produz um som de "clic" toda vez que a lâmina tocar o terminal de entrada.

Nem sempre você irá obter um som quando tocar com a ponta da chave de fenda. De fato, existem tantas coisas das quais depende o som, que você não pode considerar isso como um teste confiável. Porém, os técnicos usam este método como teste rápido. Desligar a fonte de ali-mentação.

Fig. 16-17: Montagem do teste para injeção de sinais: (**a**) diagrama esquemático; (**b**) diagrama chapeado.



☐ *Etapa 10:* Usando o sistema completo da Figura 16-17, ligar a sonda injetora de áudio do temporizador 555 no terminal de entrada do amplificador Darlington. Ligar a fonte de alimentação. Ajustar a saída com R_3 para obter um som no alto-falante. É necessário injetar um sinal de entrada menor em R_6 (por meio de seu ajuste) para obter um som no alto-falante?

.... **Sim ou Não**

Você pode precisar de um sinal menor para operar o amplificador de potência Darlington. Porém, neste circuito particular, o circuito Darlington é projetado para fornecer apenas uma baixa potência. Por esta razão, você pode não observar um aumento na saída com o amplificador de potência. Desligar a fonte de alimentação.

■ CONCLUSÃO

Nesta experiência, você aprendeu que um temporizador 555 pode ser usado para gerar um sinal de áudio para teste. Este sinal é realmente tão poderoso que pode operar diretamente um alto-falante ou um amplificador de potência.

Se houver mais estágios, o sinal de áudio poderia ser injetado em cada um deles separadamente conforme descrito neste capítulo.

Existem duas características importantes a serem lembradas no uso de um gerador de sinais: (1) a sonda deve ser ligada através de um capacitor de isolamento de corrente contínua – como, por exemplo, o capacitor C_2 da Figura 16-17 – para proteger o gerador de sinais e o circuito que está sendo testado; (2) a intensidade do sinal de saída do gerador deveria ser ajustável. Isso permite reajustar a amplitude do sinal conforme você vai passando de ponto para ponto ao realizar o teste de injeção de sinais.

AUTOTESTE COM RESPOSTAS

(As respostas com discussões encontram-se no final do capítulo / pág. 378.)

1. Qual dos seguintes métodos é a maneira normal de localização de defeitos num sistema?

(a) Verificar, em primeiro lugar, os componentes e em seguida, o sistema completo;

(b) Verificar, em primeiro lugar, os componentes e em seguida as unidades;

(c) Substituir todas as válvulas e transistores;

(d) Usar os sentidos (visão, audição e olfato, para determinar se existem falhas óbvias).

2. A afirmação seguinte está certa ou errada? A informação mais confiável que você pode ter sobre um sistema com problema é a informação fornecida pelo operador do sistema:

(a) certa;

(b) errada.

3. Algumas companhias reúnem uma ou mais unidades num invólucro de encaixe. Isso é chamado de:

(a) mistura e combinação;

(b) compartimento de teste;

(c) um subproduto;

(d) um módulo.

4. A última etapa na localização de defeitos num sistema eletrônico é:

(a) a soldagem;

(b) o teste de componentes;

(c) a descarga de capacitores;

(d) o teste do sistema.

5. Qual dos seguintes acessórios é as vezes usado pelos técnicos para injeção de sinais?

(a) um canudo plástico;

(b) a borracha de um lápis;

(c) a ponta de uma chave de fenda;

(d) uma vareta de madeira.

6. Qual dos seguintes elementos (dos elementos indicados) é o menos útil para manutenção e conserto dos sistemas eletrônicos?

(a) um ferro de soldar sem cordão;

(b) ter conhecimentos de eletrônica;

(c) métodos especiais para localização de defeitos;

(d) um conhecimento do sistema.

7. Vamos supor que você foi solicitado para consertar um sistema com defeito. Qual das seguintes atitudes é errada como primeiro passo?

(a) Encaixar a tomada e ligar a chave.

(b) Verificar os fusíveis e procurar por outros sinais de sobrecarga do circuito ou de um componente.

8. Um gerador de sinais de áudio será usado para injeção de sinais em sistemas de áudio. A sonda deve ter:

(a) uma ponta fina de cobre;

(b) um cabo estofado;

(c) um capacitor de isolamento;

(d) uma tensão contínua de pelo menos 10 volts na ponta.

9. Além do item mencionado na pergunta número 8, é também importante para o gerador de sinais ter:

(a) uma amplitude ajustável do sinal de saída;

(b) um método para inverter a polaridade do sinal de saída.

10. Qual das seguintes unidades produz uma saída que é geralmente usada por mais de uma unidade num sistema?

(a) A fonte de alimentação;

(b) O transdutor de saída;

(c) O amplificador de potência;

(d) O transformador de saída.

RESPOSTAS PARA O AUTOTESTE

1. (d) - Não comece a substituir componentes antes de ter analisado o sistema. O melhor lugar para começar é usar seus sentidos para ver se há alguma falha óbvia.

2. (b) - Lembre-se sempre que o operador pode não ser treinado para reconhecer indícios de falhas. Um indício importante poderia facilmente passar despercebido. Você deve escutar cuidadosamente tudo que o operador tem para lhe dizer, mas, em seguida, deve verificar você mesmo o sistema.

3. (d) - Uma desvantagem da construção modular é que uma (ou várias) unidade(s) completa(s) deve(m) ser substituída(s) mesmo que o problema seja, de fato, um simples resistor de alguns centavos. Isso poderia custar caro se fosse exigido do cliente pagar o preço do módulo.

4. (d) - Você não completou seu trabalho até não ter certeza de que o sistema completo esteja operando.

5. (c) - Isso foi descrito na seção de experiências.

6. (a) - Em alguns casos o reparo pode ser feito sem a necessidade de um ferro de soldar. Todos os outros indicados são úteis.

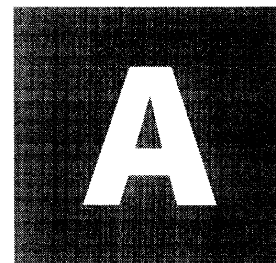
7. (a) - Nunca faça isso! Procure por sinais de sobrecarga antes de energizar o sistema.

8. (c) - A finalidade do capacitor de isolamento foi descrita na seção de experiências.

9. (a) - Isso é necessário para a injeção de sinais, de modo que você possa reduzir a amplitude do sinal de teste conforme for passando de amplificador para amplificador.

10. (a) - A fonte de alimentação fornece a tensão contínua de operação para todas as unidades que possuem amplificadores.

Segurança



As experiências descritas neste livro são realizadas em baixas tensões (geralmente 6 ou 12 volts) aplicadas aos circuitos. Isso reduz ao mínimo o perigo de choque elétrico. Se você está lendo este livro, talvez considere seguir uma carreira em eletrônica. Este anexo de segurança contém informações que você deve conhecer para realizar os trabalhos mais básicos em eletrônica. A segurança deve ser uma de suas maiores preocupações durante a execução de um serviço. Isso é certo não apenas se você estiver trabalhando com eletricidade e eletrônica, mas mesmo se você estiver trabalhando em qualquer serviço onde acidentes podem ser fatais.

Muito está sendo feito na indústria para reduzir os riscos de acidentes no trabalho. As primeiras estatísticas precisas disponíveis sobre acidentes de trabalho datam de 1912, quando se relatou que 35.000 pessoas perderam a vida em acidentes de trabalho. Este número não representa apenas o número de pessoas que perderam a vida trabalhando com eletricidade, mas sim o número total para todos os ramos da indústria. Hoje, o número de mortes por acidentes na indústria foi reduzido para cerca de um terço deste número, mas, mesmo assim, isso é ainda considerado um número elevado pelos peritos em segurança do trabalho.

Evidentemente, a parte mais trágica de uma morte acidental é o impacto que causa. Acidentes que não resultem em morte podem resultar num sério prejuízo na capacidade física e em custos necessários. Não fique surpreso, quando for trabalhar na indústria, com a ênfase dada para sua segurança e a segurança de seus companheiros de trabalho.

A importância do treinamento

Uma das primeiras coisas que você precisa evitar é tentar executar serviços para os quais não foi treinado ou com os quais você não está familiarizado. Você poderia estar fazendo isso mesmo quando estivesse trabalhando em simples experiências de laboratório. Se você pensar "o que será que vai acontecer se eu ligar este fio neste ponto?", você está provavelmente prestes a cometer um erro sério.

Se você entendeu a teoria de um circuito (o que significa que você foi treinado para este determinado serviço), *saberá* o que vai acontecer se você ligar este fio neste ponto. Em outras palavras, *um primeiro passo importante para a segurança é aprender o máximo possível sobre o equipamento com o qual você irá trabalhar.* Não faça experiências em circuitos eletrônicos tocando fios apenas para ver o que acontecerá. Sempre:

ESTUDE PRIMEIRO, TRABALHE DEPOIS

Eletricidade é um assunto sério

Apostas e brincadeiras não são divertidas num laboratório. Podem ser fatais. O que parecia ser uma brincadeira pode se tornar um terrível desastre. Se alguém fizesse o levantamento das observações mais estúpidas feitas na história, haveria uma que estaria certamente incluída: "Eu não sabia que isso iria machucá-lo".

Não dê atenção aos mitos

Para uma pessoa que não estudou eletricidade, a eletricidade é uma coisa misteriosa e muito perigosa. Essa é provavelmente uma das razões pelas quais existem tantos mitos sobre eletricidade. Um dos mais perigosos é que "você pode criar uma resistência à eletricidade recebendo choques repetidos de intensidade crescente". Francamente, isso não é assim. Não somente isso está *errado,* mas é uma coisa muito perigosa de

tentar. Sua saúde pode ser arruinada – especialmente seu coração – por choques repetidos com eletricidade.

Um outro mito que é tão perigoso como aquele que acabamos de mencionar é a idéia de que "um pequeno choque elétrico é bom para você" ou "que é muito engraçado ver quem pode suportar o maior choque elétrico". A intensidade de choque elétrico que você pode suportar não está de forma alguma relacionada com sua resistência física ou sua estatura. Existe um grande número de fatores que determinarão se um choque será fatal. Porém, o fator determinante final é *qual a corrente que flui através de seu corpo.* Observe este fator importante: *não é a tensão* que mata, mais sim a *intensidade de corrente* que passa através de seu corpo.

Uma corrente de apenas 1/1000 de ampère (ou 1 miliampère) pode produzir um choque que você pode sentir. Acerca de 1/100 de ampère (ou 10 miliampères) o choque é tão sério que paralisa os músculos e você não pode soltar o condutor. Se você vir alguém que recebeu um choque elétrico por um condutor que ele não pôde soltar, não faça a besteira de segurá-lo e tentar afastá-lo do condutor. Se o fizer, receberá também um choque. Em vez disso, desenergize o circuito quando possível. Se não puder fazer isso use algum material isolante para puxá-lo.

Em cerca de 1/10 de ampère (100 miliampères), o choque pode ser fatal mesmo se durar um segundo. Estes são valores muito pequenos da corrente quando você pensa que os fusíveis em sua casa têm capacidade para 15 ampères. Em outras palavras, *um choque pode ser fatal bem antes de o fusível queimar* (mesmo os de valores baixos).

Se alguém tentar troçar de você dizendo: "Você não tem medo de um pouco de eletricidade, ou tem?" Lembre-se que resposta deveria ser sim. Os pilotos de avião têm um ditado favorito: "Existem pilotos velhos e existem pilotos audaciosos, porém não existem pilotos audaciosos velhos". O mesmo pode ser dito das pessoas que trabalham com eletricidade.

Pessoas que brincam em laboratórios eletrônicos são eliminadas da profissão de duas formas. A primeira fazendo um erro muito sério. A segunda é que será difícil para eles conseguir emprego porque ninguém quer trabalhar com uma pessoa irresponsável.

Um outro mito que deve ser desconsiderado é a idéia de que você não pode acidentar-se ao trabalhar num circuito com uma mão no seu bolso. Esta idéia é baseada no fato de que existe muito mais probabilidade de você se machucar com ambas as mãos sobre um circuito ligado; e não é certo que, colocando uma mão no bolso, você possa evitar um acidente.

Dispositivos de Segurança

Existem dispositivos de segurança instalados nos equipamentos e a finalidade deles deve ser respeitada. *Fusíveis* e *intertravas* são dois exemplos de dispositivos de segurança.

Você já sabe que um fusível *não* irá protegê-lo de um acidente grave. Porém ele abrirá o circuito no equipamento defeituoso. Quando um fusível queimar, determine sempre a razão pela qual o fusível queimou. Não basta simplesmente substituir o fusível ou desfazer o circuito do fusível.

Uma intertrava é um dispositivo que desliga o equipamento quando seu gabinete estiver aberto ou quando o equipamento estiver parcialmente desmontado. *As intertravas servem para proteger as pessoas.* Desta forma, diferem dos fusíveis que servem para a proteção do equipamento. Em alguns casos, é necessário trabalhar sobre o equipamento energizado. Para fazer isso, um técnico experiente pode *desfazer* a intertrava, ou seja, passar por fora da intertrava de modo que o equipamento possa trabalhar mesmo com o gabinete aberto. Este procedimento é aceitável se você souber o que está fazendo no circuito. Porém, se você não estiver familiarizado com o equipamento, você *nunca* deve desfazer a intertrava.

As ferramentas são importantes num bom Programa de Segurança

Existem um certo número de operações relacionadas com eletrônica que requerem precauções especiais de segurança. Independentemente do tipo de trabalho que você esteja realizando, deverá sempre manter suas ferramentas e seu equipamento em ótimas condições. Certifique-se de que as chaves de fenda estejam afiadas e as ferramentas limpas. Sempre use óculos e luvas de segurança em serviços que exijam esta proteção e, antes de começar a trabalhar em qualquer equipamento, certifique-se de que o mesmo está desenergizado (sempre que possível).

É especialmente importante saber onde está a chave geral da área na qual você está trabalhando. Você poderia achar necessário desligar a força rapidamente. Se você achar necessário trabalhar em volta do equipamento de alta-tensão, nunca trabalhe sozinho.

Perigos de Incêndio

Você sabe, sem dúvida, que a eletricidade pode ser a causa de incêndios. Por exemplo, não é incomum uma casa com instalações elétricas defeituosas pegar fogo. Você deve sempre lembrar que a eletricidade pode criar perigos de incêndio e você deve entender bem como tratar estes perigos.

Você pode achar necessário trabalhar com ferros ou pistolas para soldar, e deve lembrar-se de que estas pistolas podem aquecer o suficiente para provocar um incêndio.

Você não deve adquirir o hábito de remover a solda de um ferro ou uma pistola por meio de batidas para limpá-los. Partículas de solda podem lhe atingir ou a alguém perto de você. Isso pode causar uma queimadura na pele, ou pior ainda, a solda pode atingir o olho ou o ouvido.

Quando você estiver soldando, tenha especial cuidado para não inalar a fumaça criada pela solda e pela pasta. De fato, deve-se seguir a seguinte regra geral sobre fumaça:

Nunca é bom inalar fumaça, qualquer que seja sua origem. 

Se um equipamento eletrônico pegar fogo, você deve ter o máximo cuidado de não jogar água sobre o fogo e nunca deve usar um extintor de incêndio do tipo espuma. A eletricidade pode seguir a água e a espuma, e vir a lhe causar sérios problemas. Mesmo se não for pela possibilidade de danos pessoais, não seria uma boa idéia usar água ou extintores de espuma sobre fogo em aparelhos eletrônicos, porque ambos poderiam destruir o equipamento. O que poderia ter sido um pequeno incêndio pode terminar sendo uma completa destruição do equipamento, se água ou espuma forem aplicados com o equipamento energizado.

Perca alguns segundos para verificar os extintores de incêndio em sua área de trabalho. Deve existir uma plaqueta de identificação sobre o extintor dizendo se pode ou não ser usado em aparelhos elétricos. O tipo geralmente recomendado para incêndios em aparelhos elétricos é CO_2.

As seguintes providências devem ser tomadas se um incêndio ocorrer num laboratório eletrônico:

1. Avisar todo mundo dentro da área.
2. Desenergizar imediatamente o circuito. Você pode ter que fazer isso desligando a chave geral.
3. Chamar o corpo de bombeiros ou ligar o alarme de incêndio. Lembre-se que os bombeiros são peritos em todos os tipos de incêndios e você precisa da ajuda deles o mais rápido possível.
4. Usando o tipo correto de extintor (tipo CO_2), dirigir o extintor para a base da chama. Tenha cuidado para que o fogo não se propague entre você e a saída do edifício.

Conheça os Primeiros Socorros

Pessoas que recebem um choque sério podem ter problemas respiratórios e é importante restabelecer *o mais rápido possível* a respiração.

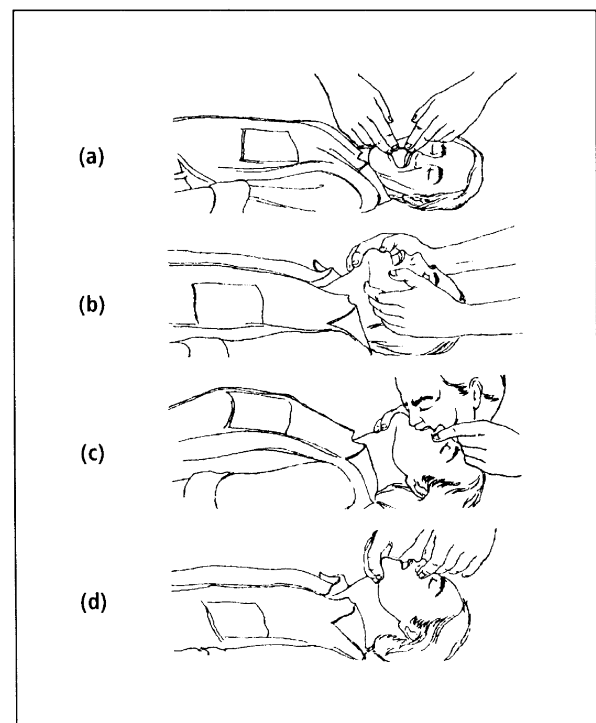


Fig. A-1: Quatro fases num ciclo de respiração artificial:
(**a**) primeiramente livrar a boca e a garganta da vítima;
(**b**) inclinar a cabeça da vítima o máximo para trás e puxar o maxilar para cima;
(**c**) colocando sua boca sobre a boca da vítima e mantendo as narinas da vítima fechadas, assoprar com força suficiente para fazer o peito levantar;
(**d**) afastar sua boca e deixar a vítima exalar naturalmente.

Não pare para afrouxar as roupas – deixe que algum outro o faça. Em vez disso, comece imediatamente a respiração artificial.

Dois métodos de respiração artificial são descritas aqui. O método boca-a-boca é preferido. Porém, em alguns casos (como por exemplo em danos sérios no rosto) o outro método deve ser usado. Você deve aprender e praticar ambos os métodos.

Qualquer que seja o método que você usar, certifique-se, em primeiro lugar, de que a boca e o nariz da vítima estejam livres de obstruções e que a vítima não tenha na boca alguma coisa como chiclete, bala ou dentadura que venham a dificultar a respiração.

A Figura A-1 mostra o ciclo de respiração artifical. Em primeiro lugar desobstura a boca e as vias respiratórios da vítima.

Em seguida incline a cabeça da vítima o máximo possível para trás e puxe o queixo para cima até que os dentes de baixo estejam na frente dos dentes de cima. Em seguida, tome uma inalação profunda. Coloque sua boca sobre a boca da vítima segurando as narinas da vítima. Certifique-se de que o ar não vaze em volta de sua boca.

Sopre com força o ar dentro da boca da vítima o suficiente para dilatar e levantar o peito da vítima. Afaste sua boca e deixe a pessoa exalar naturalmente.

Repita este ciclo 12 a 15 vezes por minuto. Cada ciclo completo deve levar de 4 a 5 segundos. Uma vez estabelecido o ritmo, não o quebre independentemente de quaisquer outras providências tomadas com a vítima. Mantenha este ritmo até a chegada de alguma ajuda profissional.

A Figura A-2 mostra o método Schaeffer de ressuscitação artificial. Suas mãos devem ser colocadas no meio das costas da vítima. Logo abaixo das omoplatas, de modo que os dedos possam se abrir para baixo e para fora e as pontas dos polegares estejam quase se tocando. Avance até que seus braços estejam quase na vertical e use o peso de seu corpo para forçar para baixo. Exerça uma pressão lenta e constante sobre suas mãos até encontrar uma resistência firme. A finalidade desta ação é de forçar o ar para fora dos pulmões da vítima.

O segundo passo consiste em soltar a pressão endireitando-se, tendo porém o cuidado de não fazer movimentos bruscos. Você deve aliviar a pressão de suas mãos das costas da vítima com um movimento gradual para fora. Conforme você volta para trás, puxe os braços da vítima para cima e na sua direção, mantendo seus

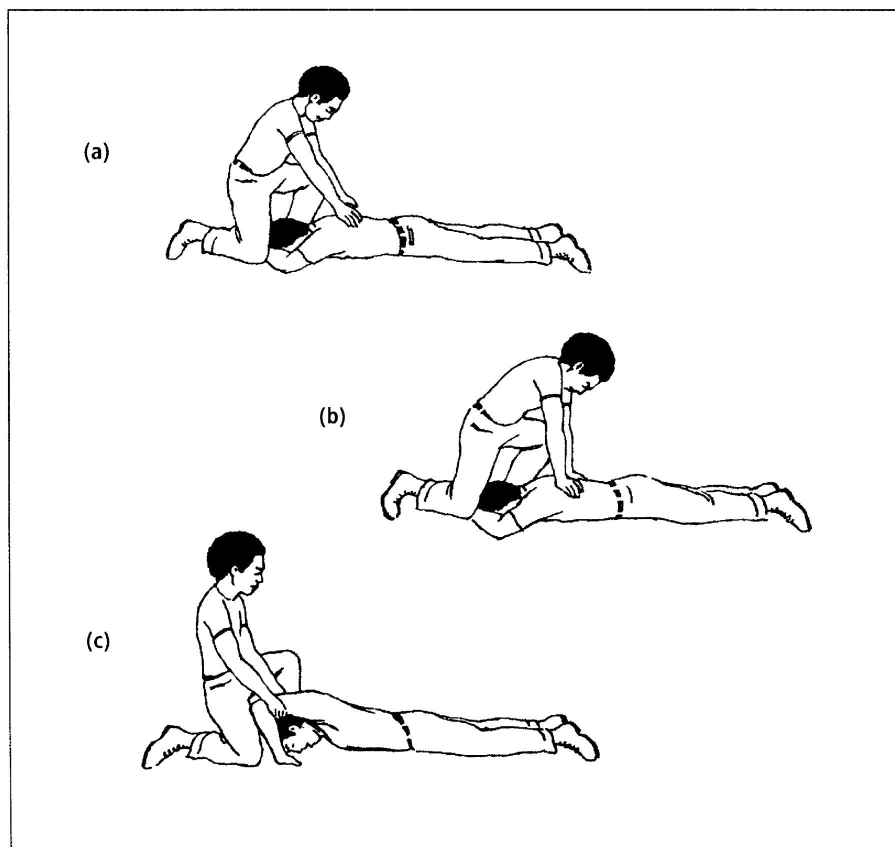


Fig. A-2: Três fases num ciclo de respiração artificial:
(a) o primeiro passo consiste em colocar a vítima nesta posição. Coloque suas mãos em cada lado das costas da vítima conforme indicado;
(b) nesta etapa, exercer pressão sobre as costas para forçar o ar para fora dos pulmões da vítima. Seus braços devem ser retos e quase verticais;
(c) conforme você vai se movimentado para trás, levante os braços da vítima e puxe os braços para frente conforme indicado aqui. Os braços da vítima devem ser levantados o suficiente para arquear as costas, e o peito deve ser ligeiramente levantado do solo para facilitar a entrada de ar fresco nos pulmões da vítima.

braços quase retos. A finalidade deste movimento é de aliviar a pressão sobre o peito da vítima e de permitir ao ar entrar livremente nos pulmões. Após ter chegado a esta posição, repita o processo várias vezes, tendo o cuidado de manter um ritmo constante.

Cada ciclo completo deve levar de 4 a 5 segundos e você deve fazer 12 ou 15 ciclos a cada minuto. Uma vez estabelecido o ritmo, não o quebre o independentemente de quaisquer outras providências terem sido tomadas com a vítima. Mantenha este ritmo até a chegada de ajuda profissional.

Qualquer que seja o método utilizado, é importante manter a vítima aquecida.

Peça para alguém enrolar a vítima com roupas ou cobertores. Não tente fazer isso você mesmo, já que poderia assim quebrar o ritmo. Evite deslocar a vítima, a menos que isso seja *absolutamente* necessário (como por exemplo, em caso de incêndio ou algum outro perigo).

É muito importante lembrar-se que você nunca deve desistir rapidamente. Pode levar várias horas para trazer as vítimas a um ponto onde possam respirar por si mesmas. Tão logo a vítima comece a respirar, não a deixe sentar. Observe-a cuidadosamente. Se parar de respirar, recomece sua respiração artificial imediatamente.

Se uma pessoa estiver queimada ou ferida, você deve procurar imediatamente por socorro médico. Se você tiver sido treinado em primeiros socorros, pode aplicar pressão nos pontos recomendados para reduzir o problema da hemorragia. Porém ao mesmo tempo, você deve certificar-se de que alguém foi procurar socorro médico.

A coisa importante a ser lembrada no caso de queimaduras é de *nunca* aplicar iodo, antisséptico ou pó na área queimada. Também deve evitar o uso de algodão diretamente sobre a parte queimada, porque isso poderia causar maiores problemas.

Você pode tornar uma queimadura menos séria cobrindo-a com água fria ou gelo para esfriá-la. A maior parte da dor proveniente de uma queimadura é provocada pelo movimento de ar sobre a área atingida. Portanto, se a pele for apenas avermelhada (mas não rachada ou rasgada), você pode cobrir a área com uma camada de pomada solúvel em água (não use gordura). Evite romper bolhas e não tire as roupas aderidas a uma área queimada da péle. Em vez disso, recorte as roupas em volta desta área.

A informação fornecida aqui não substitui um treinamento para primeiros socorros. Quando possível, participe de um treinamento.

RESUMO DAS MEDIDAS DE SEGURANÇA

A seguir damos um resumo das medidas importantes de segurança a serem tomadas quando se trabalha com equipamento elétrico e eletrônico.

- Evite o uso de roupas amplas e adornos que possam ficar presos em máquinas.
- Use sapatos com sola grossa isolante. Evite os sapatos com chapinha de ferro ou tachas metálicas.
- Mantenha suas ferramentas limpas e afiadas e certifique-se de que estão adequadamente isoladas.
- Evite a inalação de vapores e de fumaça de qualquer tipo.
- Nunca opere equipamento elétrico defeituoso, como por exemplo uma ferramenta elétrica metálica sem fio terra. Da mesma forma, equipamentos nos quais dispositivos de isolamento foram removidos nunca devem ser operados.
- Nunca use álcool ou tetracloreto de carbono como agente de limpeza na proximidade de sistemas elétricos. O álcool inflamar-se-á se for muito aquecido e o tetracloreto de carbono emitirá um gás tóxico quando em contato com metais quentes.
- Nunca confie em intertravas, fusíveis e relés de segurança para alta-tensão para proteger você numa instalação elétrica. Sua melhor segurança é um conhecimento do que você está fazendo.
- Sempre que possível, desenergize completamente um circuito para trabalhar no mesmo.
- Se você achar necessário substituir fusíveis elétricos, use um tipo aprovado de tira-fusível. Não mexa na caixa com as mãos nuas para retirar fusíveis do tipo cartucho mesmo se o circuito estiver DESLIGADO.
- Nunca aceite *qualquer afirmação* como absolutamente certa.

- Não trabalhe em equipamento elétrico com o qual você não esteja familiarizado. Gaste um pouco de tempo para aprender como o circuito funciona e a sua função. *Seu conhecimento de eletricidade é a melhor garantia de sua segurança.*

- Saiba sempre onde estão as chaves gerais e os extintores de incêndio na área na qual você está trabalhando. Determine quais são os tipos de incêndio que cada extintor pode apagar.

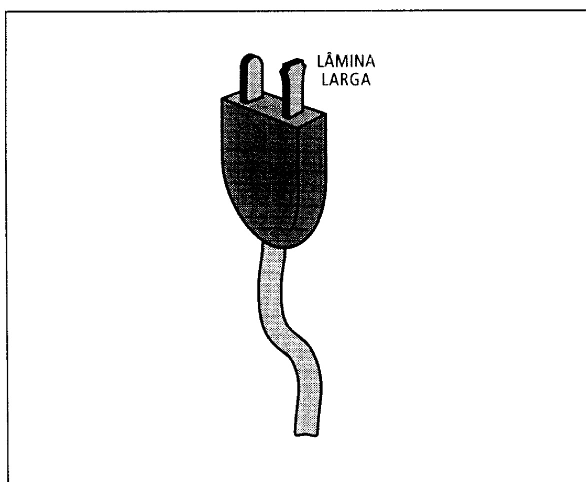
- Nunca use água, tetracloreto de carbono ou extintores de incêndio em incêndios de aparelhos elétricos.

- Evite trotes e fale claramente que você não aprecia brincadeiras e trotes.

- Gaste algum tempo para aprender os métodos de primeiros socorros porque podem ajudar você (não apenas no laboratório de eletrônica mas também em muitas outras situações na vida).

- Se o equipamento possui um plugue polarizado como aquele indicado na Figura A-3, isto é um dispositivo de segurança. A lâmina larga será sempre ligada para o lado de baixa tensão da linha de corrente alternada e o plugue pode ser encaixado na tomada apenas de uma maneira. Não desmonte este dispositivo de segurança.

Fig. A-3: Plugue polarizado.



PERGUNTAS DE REVISÃO PROGRAMADA

(As instruções para usar esta seção de Revisão Programada são fornecidas no Capítulo 1 / pág. 8.)

Iremos agora rever algumas das idéias mais importantes sobre segurança nesta seção de revisão programada. Se você entendeu o material, irá progredir facilmente nesta seção. Não pule esta seção, porque nela apresentamos informações adicionais.

1 **Qual das seguintes afirmações está certa?**

[A] **Se houver um extintor de incêndio num laboratório eletrônico, você pode presumir que este extintor é seguro para uso em incêndios de aparelhos elétricos.** (passe para o item 9).

[B] **Gaste um pouco de tempo para aprender quais os extintores de incêndio são seguros para usar *antes* que comece o fogo** (passe para o item 17).

2 *Se sua resposta para a pergunta no item 19 é B, está errada. Em alguns casos, uma tensão de 70 volts pode ser fatal, porém em outros casos uma tensão de 20.000 volts não seria fatal. Obviamente não é a tensão que é o fator determinante.* Passe para o item 22.

3 *A resposta correta para a pergunta no item 18 é B. Os extintores marcados "Seguros para uso em eletricidade" são extintores de CO_2.* Aqui está a próxima pergunta:

No caso de incêndio em aparelhos elétricos você deve primeiramente:

[A] **Ligar o alarme de incêndio** (passe para o item 7).

[B] **Desenergizar o circuito** (passe para o item 16).

4 *Se sua resposta para a pergunta no item 21 é A, está errada. Pode ser perigoso e dispendioso "mexer num circuito" quando você não sabe coisa alguma sobre o equipamento.* Passe para o item 13.

5 *Se sua resposta para a pergunta no item 13 é A, está errada. Apesar de ser boa prática manter uma mão no bolso, isso não constitui uma garantia segura contra um acidente. Sua melhor proteção é saber o que você está fazendo.*
Passe para o item 19.

6 *Se sua resposta para a pergunta no item 18 é A, está errada. Se você pulverizar água num incêndio em aparelhagem elétrica, duas coisas irão acontecer.* ***Em primeiro lugar****, a água provavelmente danificará o circuito (o que teria sido um incêndio insignificante pode se tornar uma perda dispendiosa).* ***Em segundo lugar****, a eletricidade pode seguir o jato de água e isso poderia ser fatal.*
Passe para o item 3.

7 *Se sua resposta para a pergunta no item 3 é A, está errada. É muito importante obter ajuda, de modo que você* ***deveria*** *ligar um alarme. Porém você deve* ***primeiramente*** *desenergizar o circuito. A melhor maneira para fazer isto é desligar a chave geral ou o disjuntor geral. Mais uma vez, você deve saber onde se encontra esta chave* ***antes*** *de o fogo começar, de modo que não precise procurar pela chave em caso de emergência.*
Passe para o item 16.

8 *A resposta correta para a pergunta no item 16 é B. Evidentemente, é importante afrouxar as roupas e eliminar obstruções do nariz e da boca da pessoa, mais deixe uma outra pessoa fazer isto. Se não houver ninguém nas proximidades, faça isso entre os ciclos. O ciclo de respiração deve ser iniciado o mais cedo possível.* Aqui está a próxima pergunta:

A seguinte afirmação está certa ou errada? Se você planejar trabalhar com equipamento eletrônico, você deve formar sua resistência à eletricidade tomando choques repetidos.

[A] **Esta afirmação está certa**
(passe para o item 14).
[B] **Esta afirmação está errada**
(passe para o item 21).

9 *Se sua resposta para a pergunta no item 1 é A, está errada. Pode haver no laboratório extintores de incêndio para incêndios de solventes ou de graxas ou para incêndios de papel ou de madeira. Você não deve usar estes extintores para incêndios em eletricidade.* Passe para o item 17.

10 *A resposta correta para a pergunta no item 25 é A. Além de não ser permitido colocar iodo sobre as queimaduras, você deve evitar o uso de mechas de algodão e de pós medicinais.* Aqui está a próxima pergunta:

O ciclo completo de respiração artificial deve levar cerca de:

[A] **20 segundos para cada ciclo completo com um total de 12 a 15 ciclos completos por minuto**
(passe para o item 12).
[B] **4 ou 5 segundos para cada ciclo completo com um total de 12 a 15 ciclos completos por minuto**
(passe para o item 18).

11 *Se sua resposta para a pergunta no item 18 é C, está errada. A maioria dos extintores do tipo espuma nunca devem ser usados em incêndios em eletricidade pelas mesmas razões pelas quais não deve ser usada água.* Passe para o item 3.

12 *Se sua resposta para a pergunta no item 10 é A, está errada. Um ser humano não poderia viver com uma quantidade de ar tão pequena. Além disto, se cada ciclo leva 20 segundos, você não pode ter 12 a 15 ciclos por minuto. Reveja o procedimento descrito acima e, em seguida,* passe para o item 18.

13 *A resposta correta para a pergunta no item 21 é B. Não é seguro e não é boa prática fazer experiências com equipamento eletrônico. O procedimento correto é conhecer primeiro o equipamento e depois trabalhar com o mesmo.* Aqui está a próxima pergunta:

A afirmação seguinte está certa ou errada? Ao trabalhar em circuitos de alta-tensão você não sofrerá acidente com equipamento elétrico, ***enquanto*** **se lembrar de manter uma mão no bolso.**

[A] **Esta afirmação está certa**
(passe para o item 5).
[B] **Esta afirmação está errada**
(passe para o item 19).

14 *Se sua resposta para a pergunta no item 8 é A, está errada. Você não pode adquirir uma resistência à eletricidade e é perigoso para a saúde tentá-lo.* Passe para o item 21.

15 *Se sua resposta para a pergunta no item 17 é A, está errada. Um fusível é usado para proteger o equipamento, não para proteger o usuário ou o técnico que estiver trabalhando no equipamento.* Passe para o item 25.

16 *A resposta correta para a pergunta no item 3 é B. Se você desenergizar o circuito, poderá evitar perigos adicionais de incêndio. Em alguns casos, a desenergização do circuito poderá também extinguir o fogo.* Aqui está a próxima pergunta:

Quais das seguintes providências devem ser tomadas em primeiro lugar se você for aplicar respiração artificial?

[A] **Afrouxar os sapatos e o cinto da vítima**
(passe para o item 20).
[B] **Colocar a vítima em posição o mais rapidamente possível e iniciar a respiração artificial**
(passe para o item 8).

17 *A resposta correta para a pergunta no item 1 é B. É possível que mais de um tipo de extintor possa ser usado no laboratório. Você deve verificar por si mesmo quais podem ser usados em eletricidade. Um extintor de $C0_2$ é geralmente usado para incêndios em eletricidade.* Aqui está a próxima pergunta:

Qual das seguintes afirmações está certa?

[A] **Se um circuito tiver fusíveis adequados, você não pode receber um choque fatal tocando o mesmo**
(passe para o item 15).
[B] **Apesar de haver um fusível no circuito, você pode receber um choque fatal ao tocar o mesmo**
(passe para o item 25).

18 *A resposta correta para a pergunta no item 10 é B. Você deve praticar este ritmo até fazê-lo com precisão.* Aqui está próxima pergunta:

Para um incêndio em eletricidade você deve usar:

[A] **Água**
(passe para o item 6).
[B] **Extintores de $C0_2$**
(passe para o item 3).
[C] **Extintores do tipo espuma**
(passe para o item 11).

19 *A resposta correta para a pergunta no item 13 é B. Mantenha uma mão no bolso como medida de precaução sempre que possível, porém tenha bastante cuidado. Certifique-se de estar isolado dos condutores elétricos mesmo se você acreditar que o circuito está desenergizado.* Aqui está a próxima pergunta:

Qual dos seguintes fatores determina de fato se um choque é fatal?

[A] **A intensidade da corrente que flui através do corpo**
(passe para o item 22).
[B] **O valor da tensão no circuito**
(passe para o item 2).

20 *Se sua resposta para a pergunta no item 16 é A, está errada. Você deve iniciar imediatamente o ciclo de respiração. Deixe uma outra pessoa afrouxar as roupas da vítima.* Passe para o item 8.

21 *A resposta correta para a pergunta no item 8 é B. O boato de que uma pessoa pode adquirir resistência à eletricidade é perigoso.* Aqui está a próxima pergunta:

A seguinte afirmação está certa ou errada? Se você não estiver familiarizado com um equipamento eletrônico, tente alguma coisa. De qualquer forma é assim que se aprende coisas novas.

[A] **Esta afirmação está certa**
(passe para o item 4).
[B] **Esta afirmação está errada**
(passe para o item 13).

22 *A resposta correta para a pergunta no item 19 é A. Uma corrente de 1/10 de ampère pode ser fatal.* Aqui está a próxima pergunta:

Quando você estiver trabalhando perto de circuitos de alta-tensão, você deve:

A **Trabalhar sozinho**
(passe para o item 24).
B **Trabalhar com alguém**
(passe para o item 26).

23 *Se sua resposta para a pergunta no item 25 é B, está errada. Você nunca deve pôr iodo numa ferida.* Passe para o item 10.

24 *Se sua resposta para a pergunta no item 22 é A, está errada. Nunca é uma boa idéia trabalhar sozinho em qualquer sistema onde acidentes podem ocorrer.* Passe para o item 26.

25 *A resposta correta para a pergunta no item 17 é B. Equipamentos com defeito podem queimar um fusível, e desta forma você sabe que o equipamento tem um defeito que pode ser perigoso. Porém, o fusível tem por finalidade principal a proteção contra incêndios e contra a destruição dos equipamentos elétricos.*

Lembre-se que um choque de 0,1 ampère pode ser fatal, e um fusível de 15 ampères não constituirá proteção contra isso. Aqui está a próxima pergunta:

Qual das seguintes afirmações está certa?

A **Nunca colocar iodo sobre uma queimadura**
(passe para o item 10).
B **A melhor coisa para colocar sobre uma queimadura é iodo**
(passe para o item 23).

26 *A resposta correta para a pergunta no item 22 é B. No mínimo, um colega poderia ir procurar por socorro caso ocorresse um acidente.*

Você completou agora as perguntas de revisão programada. O próximo passo é fazer o autoteste "certo ou errado".

AUTOTESTE COM RESPOSTAS

Responder a cada uma das seguintes perguntas com "certo" ou "errado". (As respostas são fornecidas no final do capítulo / pág. 380.)

1. **A segurança deve ser uma de suas principais preocupações.**
   - certo;
   - errado.
2. **Você não pode adquirir resistência à eletricidade.**
   - certo;
   - errado.
3. **Manter uma mão no seu bolso enquanto trabalha em aparelhos de alta-tensão é uma prática segura, porém não constitui uma garantia absoluta de segurança.**
   - certo;
   - errado.
4. **Você não deve trabalhar em equipamento com o qual não esteja familiarizado.**
   - certo;
   - errado.
5. **Uma corrente de apenas 1/100 de ampère durante cerca de 1 segundo pode ser fatal.**
   - certo;
   - errado.
6. **Deveria ser usado um ritmo de 12 a 15 ciclos por minuto ao aplicar a respiração artificial.**
   - certo;
   - errado.
7. **Não é certo que um pouco de eletricidade é bom para você.**
   - certo;
   - errado.

8. Um fusível num circuito não protegerá você de um choque sério.

- certo;
- errado.

9. Você não deve usar mechas de algodão em queimadura.

- certo;
- errado.

10. Você não deve fazer experiências com equipamentos caros.

- certo;
- errado.

11. Com uma corrente de 1/100 de ampère você não pode mais largar o circuito.

- certo;
- errado.

12. Você nunca deve inalar fumaça ou vapores de qualquer tipo.

- certo;
- errado.

13. Você nunca deve participar de trotes e brincadeiras no laboratório.

- certo;
- errado.

14. Quando ocorrer um incêndio em aparelhagem elétrica, você deve desenergizar o circuito.

- certo;
- errado.

15. Uma corrente de apenas 1/1000 de ampère pode produzir um choque que você pode sentir.

- certo;
- errado.

16. Você nunca deve colocar iodo sobre uma queimadura.

- certo;
- errado.

17. É prática segura manter as ferramentas limpas e afiadas.

- certo;
- errado.

18. Você deve procurar descobrir onde estão a chave geral e os extintores de incêndio quando trabalha numa área.

- certo;
- errado.

19. Cada ciclo na respiração artificial deve levar cerca de 4 a 5 segundos.

- certo;
- errado.

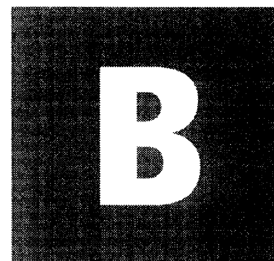
20. Nunca use água ou extintores do tipo espuma para apagar incêndios em aparelhos elétricos.

- certo;
- errado.

RESPOSTAS AO AUTOTESTE

A resposta deve ser "certo" para todas as proposições anteriores.

Vocabulário de palavras e símbolos



A

ACELERÔMETRO
Um transdutor projetado como sensor de aceleração.

ALTO-FALANTE "SQUAWKER"
Um alto-falante projetado para reproduzir som na faixa média de freqüência.

AMPLIFICAÇÃO
Uma pequena alteração na tensão (ou corrente) de entrada causando uma alteração maior na tensão (ou corrente de saída).

AMPLIFICADOR DARLINGTON
Um tipo de amplificador no qual dois transistores são ligados de tal forma que a corrente de base de um transistor é determinada pela intensidade da corrente que flui através de outro transistor. (Para ilustração, vide a seção de símbolos.)

AMPLIFICADOR DE POTÊNCIA
Um amplificador usado para converter um sinal de tensão num sinal de corrente para operar um transdutor.

AMPLIFICADOR DE TENSÃO
Um amplificador usado para transformar uma pequena tensão de sinal numa grande tensão.

AMPLIFICADOR OPERACIONAL
Um amplificador básico usado antigamente para operações matemáticas em computadores analógicos. Está agora sendo usado em muitas aplicações. (Para símbolos, vide a seção de símbolos.)

ANÁLOGO
Um sistema que produz uma saída que é proporcional a alguma grandeza de entrada.

ARRASTADOR
Um pequeno cilindro de metal usado em gravadores de fita para tracionar a fita sobre a cabeça do gravador em velocidade constante.

ÁUDION DE GRADE
O primeiro triodo. Foi inventado por DeForest.

B

BASE
A seção de um transistor bipolar que é equivalente à grade de controle de uma válvula e ao bloqueio de um transistor FET. O sinal de entrada é geralmente fornecido a este eletrodo. (Para ilustração vide a seção de símbolos.)

BATERIA A
A bateria usada para fornecer energia aos filamentos em equipamentos portáteis com válvulas a vácuo.

BATERIA B
A bateria usada para operar o circuito de placa em equipamentos portáteis com válvulas a vácuo.

BATERIA C
A bateria usada para obter a tensão de polarização da grade em equipamentos portáteis com válvulas a vácuo.

BLOQUEIO
Eletrodo de controle num transistor FET, um tiristor SCR e um triac.

BOBINA
Um componente que armazena energia na forma de um campo eletromagnético. Também chamada de indutor ou "choque".

BOBINA DEFLETORA
Uma bobina com corrente, usada para a deflexão do feixe de elétrons num tubo de raios catódicos. É o campo magnético em volta da bobina que provoca a deflexão do feixe de elétrons.

C

CAIXA ACÚSTICA
A caixa na qual é localizada o alto-falante.

CAMADA KENNELLY-HEAVISIDE
Um outro nome para ionosfera (vide IONOSFERA).

CAPACITOR
Um componente que armazena energia na forma de um campo eletrostático e opõe-se a qualquer mudança de tensão sobre seus terminais. (Para símbolos, vide a seção de símbolos.)

CAPACITOR "PADDER"
Um capacitor ligado em série com um capacitor variável e usado para alterar o campo de variação de capacitância do mesmo.

CARGA ESPACIAL
Uma nuvem de elétrons emitidos pelo filamento existente dentro da válvula.

CÁTODO
Um terminal negativo ou o eletrodo ligado a um terminal negativo.

CHOQUE DE RÁDIO-FREQÜÊNCIA
Um componente usado para opor resistência a variações da corrente de rádio-freqüência.

CÁTODO DE AQUECIMENTO DIRETO
Um cátodo no qual os elétrons emitidos provêm diretamente da superfície do filamento.

CIRCUITO ABERTO
Um circuito que não possui um caminho completo para o fluxo da corrente partindo e voltando para o gerador.

CIRCUITO EQUIVALENTE
Um circuito que imita um outro circuito.

CIRCUITO DE DUAS ENTRADAS
Um circuito lógico que requer duas entradas para produzir uma saída.

CIRCUITO *FLIP-FLOP*
Um circuito biestável. Possui apenas dois níveis possíveis de operação: LIGA e DESLIGA. Os estados da saída são freqüentemente chamados de zero e um.

CIRCUITO INTEGRADO (CI)
Um circuito que possui muitos transistores, resistores e capacitores, todos gravados numa única lâmina de silício.

CIRCUITO INTEGRADO DE LARGA ESCALA (LSI)
Um circuito integrado com mais de 50 componentes ativos.

CIRCUITO INTEGRADO DE MÉDIA ESCALA (MSI)
Um circuito integrado com menos de 50 componentes ativos.

CIRCUITO INTEGRADO HÍBRIDO
Um circuito integrado com pequenos componentes discretos presos no mesmo.

CIRCUITO INTEGRADO LINEAR
Um tipo de circuito integrado usado onde se deseja amplificar sinais. Num circuito integrado linear, a saída é sempre diretamente proporcional à entrada.

COLETOR
O eletrodo de um transistor bipolar que é equivalente à fonte de um transistor FET. O sinal de saída é normalmente tirado do coletor.

COMPONENTE ATIVO
Um componente usado para gerar ou amplificar sinais.

COMPONENTE BIESTÁVEL
Um componente (ou circuito) que possui apenas duas condições para operação.

COMPONENTE BIPOLAR
Um componente que depende tanto de lacunas como de elétrons para sua operação.

COMPONENTE ELETROMAGNÉTICO
Um componente cuja operação depende tanto de correntes elétricas como de campos magnéticos.

COMPONENTE OPTOELETRÔNICO
Um componente que ou (1) fornece luz quando alimentado com as tensões corretas ou (2) cuja operação muda de alguma forma quando exposto à luz.

CONTROLE AUTOMÁTICO DE GANHO COM BLOQUEIO
Um circuito de controle automático de ganho num receptor de TV que é ligado e desligado pelo impulso de sincronização. Isso impede as cristas de ruído que ocorrem a qualquer momento – exceto durante o impulso de sincronização – de afetarem a imagem.

CONVERSOR
Um tipo de fonte de alimentação usada para transformar corrente contínua em tensão alternada ou em corrente contínua de valor diferente.

CORRENTE QUIESCENTE
Corrente em vazio. A corrente contínua que flui quando não há sinal algum de entrada para a válvula, transistor bipolar ou transistor FET.

CURVA DE HISTERESE
Uma curva que mostra a quantidade de magnetismo produzido por uma força magnetizante. A área dentro da curva é diretamente proporcional à intensidade da perda por histerese. (Para ilustração, vide a seção de símbolos.)

CURVA DE RESPOSTA
Uma curva mostrando o ganho em função da freqüência.

D

DETECTOR
Um estágio de rádio que separa a rádio-freqüência e os sinais de áudio e fornece o sinal de áudio para o amplificador.

DIELÉTRICO
Um material que não conduz facilmente o fluxo de corrente de elétrons.

DIGITAL
Um sistema no qual a saída é uma série de dígitos ou números.

DIODO
Um componente que conduz a corrente de elétrons num sentido (cátodo para ânodo) mas não no sentido inverso (ânodo para cátodo). (Para símbolos, vide a seção de símbolos.)

DIODO DE ESTADO SÓLIDO
Vide DIODO SEMICONDUTOR.

DIODO EMISSOR DE LUZ (LED)
Um diodo que emite luz visível em sua junção. (Para símbolos, vide a seção de símbolos.)

DIODO FOTOCONDUTOR
Um diodo que se torna condutor quando exposto à luz com a condição de que seu ânodo esteja com tensão positiva (com relação ao seu cátodo).

DIODO REGULADOR A GÁS
Um diodo com invólucro cheio de gás. A tensão sobre este tipo de diodo é constante.

DIODO SEMICONDUTOR
Um diodo que realiza a mesma função que uma válvula diodo – isto é, permite à corrente de fluir em apenas uma direção. Também chamado de diodo de estado sólido.

DIODO ZENER
Um diodo normalmente operado por tensão reversa (ânodo negativo e cátodo positivo). A tensão sobre o diodo zener é constante. (Para símbolos, vide a seção de símbolos.)

DISTORÇÃO DE TRANSFERÊNCIA OU PASSAGEM
Um tipo de distorção que ocorre quando a onda de saída for distorcida perto dos pontos de amplitude zero.

DRENO
O eletrodo de um transistor JFET equivalente à placa de uma válvula ou ao coletor de um transistor bipolar.

E

EFEITO PIEZOELÉTRICO
Materiais que geram uma tensão na sua superfície quando submetidos ao efeito de uma pressão ou de uma força.

EFEITO DE PINGUE-PONGUE
Vide EFEITO DE VAZIO CENTRAL.

EFEITO DE VAZIO CENTRAL
Um problema em estéreo onde há som vindo da direita e da esquerda sem haver som no meio. Isto é também chamado de efeito de pingue-pongue.

ELEMENTO PASSIVO
Um componente que não gera uma tensão.

ELEMENTOS
Os 92 ingredientes básicos que são combinados de várias formas para produzir todos os materiais conhecidos.

ELÉTRON
Uma das partículas num átomo. É uma partícula com carga negativa.

ELETRÔNICA
A ciência de pôr os elétrons para trabalhar.

ELÉTRONS SECUNDÁRIOS
Elétrons que se soltaram de uma placa metálica como resultado do bombardeio da placa por outros elétrons em alta velocidade.

EM FASE
Quando dois sinais se tornam positivos e negativos no mesmo instante. (Para ilustração, vide a seção de símbolos.)

EMISSÃO DE CAMPO
Emissão produzida quando elétrons são arrancados da superfície do cátodo pela tensão positiva aplicada ao ânodo.

ENTRADA DE SINAL
O ponto onde o sinal entra no amplificador.

ESTUFA PARA CRISTAL
Um recipiente que mantém constante a temperatura de um cristal vibratório. Sua finalidade é de tornar a freqüência mais constante.

F

FAIXA LATERAL RESIDUAL
Método de transmissão em televisão no qual são transmitidas uma faixa lateral completa e uma porção da outra. Este método economiza espaço no espectro eletromagnético.

"FAN-IN"
O número total de entradas num circuito lógico.

"FAN-OUT"
O número total de saídas num circuito lógico.

FANOTRON
Um diodo cheio de gás.

FILTRO
Um circuito que irá deixar passar apenas uma freqüência ou faixa de freqüências.

FILTRO DE PASSAGEM DE ALTAS FREQÜÊNCIAS
Um filtro que irá deixar passar todas as freqüências acima do ponto de corte.

FILTRO DE PASSAGEM DE BAIXAS FREQÜÊNCIAS
Um circuito que rejeita todas as freqüências abaixo do ponto de corte.

FIO DE RESISTÊNCIA
Um fio com alta resistência por centímetro.

FLUXO
Campo magnético ou linhas de campo magnético.

FLUXO CONVENCIONAL DE CORRENTE
A corrente que passa através do circuito do terminal positivo da fonte de tensão para o terminal negativo.

FLUXO DE CORRENTE DE ELÉTRONS
A corrente que pode ser acompanhada através de um circuito do terminal negativo da fonte de tensão até o terminal positivo.

FONTE DE TENSÃO REGULADA
Uma fonte que tem sempre a mesma tensão de saída, qualquer que seja a resistência da carga.

FORÇA COERCIVA
A intensidade da força magnetizada necessária para remover o magnetismo.

FOTOCÉLULA
Um transdutor fotoelétrico ativo que produz uma tensão de saída que depende da intensidade da luz que incide sobre o mesmo.

G

GANHO DE POTÊNCIA
A potência do sinal de saída dividida pela potência do sinal de entrada.

GANHO DE TENSÃO
A tensão do sinal de saída dividida pela tensão do sinal de entrada.

I

IMPULSO DE SINCRONIZAÇÃO
A parte do sinal que informa ao receptor quando iniciar uma nova linha ou um novo campo.

INCANDESCENTE
Tornado tão quente que emite luz.

INJEÇÃO DE SINAL
Um método de localização de defeitos no qual o sinal adequado é injetado dentro do sistema, começando na saída e indo em direção à entrada.

INTERCOMUNICADORES
Sistemas de comunicação entre dois pontos ou mais.

INVERSÃO DE FASE
Condição na qual o sinal de saída é invertido ou defasado em 180° em relação ao sinal de entrada. (Para ilustração, vide a seção de símbolos.)

IONOSFERA
Camada atmosférica que reflete as ondas de rádio de volta para a Terra de modo que possam ser usadas para recepção a longa distância. Também chamada de camada Kennelly-Heaviside.

L

LACUNAS
Portadores de carga positiva.

LARGURA DE FAIXA
A faixa de freqüências em que o amplificador pode operar.

LEI DE CORRENTES DE KIRCHOFF
Uma lei que afirma que se você considerar positivas as correntes que entram numa junção e negativas as correntes que saem desta junção, a soma das correntes na junção deve ser zero.

LEI DE FARADAY DE INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA
Lei que afirma que toda vez que existe um movimento entre um campo magnético e um condutor, produz-se uma tensão no condutor.

LEI DE OHM
Uma lei que fornece a relação entre tensão, corrente e resistência num circuito. Esta lei afirma que a intensidade da corrente num circuito I (em ampères) é igual à tensão E (em volts) dividida pela resistência R (em OHMS I), ou I = E/R.

LEI DE TENSÕES DE KIRCHOFF
Uma lei que afirma que se considerarmos negativas as quedas de tensão dentro de um circuito e positivas as elevações de tensão (tensões geradas), a soma das tensões dentro de qualquer circuito fechado deve ser zero.

M

MASSA
O local onde a tensão do sinal é considerada como 0 volt.

MÉTODO DE MATRIZ
Um método de som quadrifônico que apanha os sinais elétricos de quatro microfones e os combina em dois sinais. Também chamado de som quadrifônico codificado.

MÓDULO
Uma unidade dentro de um conjunto, que realiza uma função especial.

MONOLÍTICO
Descreve um circuito completo sobre uma única lâmina de silício.

O

ONDA ATENUADA
Um sinal transmitido produzido por uma faísca na abertura entre dois eletrodos e esta produz ondas eletromagnéticas sobre uma faixa ampla de freqüências. Esta onda é identificada por uma amplitude que diminui com o tempo. (Para ilustração, vide a seção de símbolos.)

ONDA TERRESTRE
Uma onda de rádio que se desloca ao longo da superfície da Terra.

OSCILADOR ALIMENTADO EM PARALELO
Um circuito oscilador projetado de tal forma que a corrente do amplificador não flui através do circuito sintonizado.

OSCILADOR ALIMENTADO EM SÉRIE
Um oscilador no qual parte da corrente do amplificador flui através do circuito sintonizado.

P

PENTODO
Uma válvula com grade supressora.

PERDA POR HISTERÉSE
Perda que ocorre em transformadores porque o núcleo de ferro torna-se magnetizado durante cada alternância de corrente.

PÉROLAS DE FERRITE
Pequenas pérolas de material magnético que agem como "choques" de rádio-freqüência.

PLACA DEFLETORA
Uma placa metálica com tensão usada para a deflexão do feixe de elétrons num tubo de raios catódicos.

POLARIZAÇÃO POR FUGA DE GRADE
Um tipo de polarização que é obtido a partir do sinal.

PORTADOR DE RÁDIO-FREQÜÊNCIA
Um sinal de rádio-freqüência irradiado por uma antena transmissora.

PORTADORES DE CARGAS NEGATIVAS
Elétrons que podem ser considerados portadores da corrente elétrica.

PORTADORES DE CARGAS POSITIVAS
As lacunas.

PORTADORES MAJORITÁRIOS DE CARGA
As lacunas num material tipo P e os elétrons num material tipo N.

PORTADORES MINORITÁRIOS DE CARGA
Os elétrons num material tipo P e as lacunas num material tipo N.

POTENCIAL DE DISPARO
Um certo valor mínimo de tensão necessário para uma lâmpada neon poder conduzir.

POTENCIÔMETRO
Um resistor variável ligado para controlar uma tensão.

PROVADOR DE VÁLVULAS
Um equipamento para testar válvulas a vácuo.

PROVADOR DENTRO DO CIRCUITO
Um provador de transistores que determina se o transistor pode amplificar. Não é necessário remover o transistor do circuito para verificação com este instrumento.

R

RASTREAMENTO DO SINAL
Um método de localização de defeitos que começa no ponto de entrada e acompanha o sinal até a saída.

REALIMENTAÇÃO DEGENERATIVA
Realimentação produzida quando o sinal de saída é desenvolvido para a entrada de tal forma que se subtrai do sinal de saída. Também chamada de realimentação negativa.

REALIMENTAÇÃO NEGATIVA
Realimentação produzida quando o sinal de saída é retornado para a entrada de tal forma que irá subtrair-se do sinal de saída. Também chamada de realimentação degenerativa.

REALIMENTAÇÃO POSITIVA
Um tipo de realimentação num amplificador no qual parte do sinal de saída é realimentado na entrada em fase com o sinal de entrada e aumenta o ganho do amplificador. Também chamada de realimentação regenerativa.

REALIMENTAÇÃO REGENERATIVA
Vide REALIMENTAÇÃO POSITIVA.

REATÂNCIA CAPACITIVA
A oposição que um capacitor oferece ao fluxo de corrente alternada.

RECEPTORES DE TV INTERPORTADORES
Receptores de televisão que amplificam tanto o sinal de áudio como o sinal de vídeo no estágio de freqüência intermediária.

REGIÃO DE RESISTÊNCIA NEGATIVA
A região na curva característica da válvula onde um aumento da tensão sobre a válvula causa a diminuição da corrente de placa.

REGIÃO DE PRETO-MAIS-PRETO
A porção do sinal de televisão que possui maior amplitude que o pedestal de apagamento. Os impulsos de sincronização estão na região do preto-mais-preto.

REGRA DA MÃO ESQUERDA
Uma regra que afirma que se você (mentalmente) segurar um condutor com a mão esquerda de modo que seu polegar aponte na direção do fluxo da corrente de elétrons, então seus dedos irão envolver o condutor na direção do campo magnético.

REGULADOR EM DERIVAÇÃO
Um circuito de fonte de alimentação no qual a corrente de carga não flui através do regulador.

REGULADOR EM SÉRIE
Um circuito de fonte de alimentação no qual a corrente de carga flui através do regulador.

REGULAGEM
Uma medida da constância da tensão de saída de uma fonte de alimentação sob condições variáveis da corrente da carga.

REOSTATO
Um resistor variável ligado num circuito de tal forma que faz variar a corrente.

RESISTOR DE ESTABILIZAÇÃO DE EMISSOR
Um resistor no circuito do emissor que protege o transistor contra fuga térmica. Este resistor estabiliza também o amplificador contra variações da temperatura.

RESISTOR DEPENDENTE DE TENSÃO
Vide VARISTOR.

RETIFICADOR
Um circuito com diodo usado para converter a corrente alternada da linha de alimentação para corrente contínua.

RETIFICADOR CONTROLADO A SILÍCIO (SCR)
Um interruptor controlável de ação rápida. (Para símbolos, vide a seção de símbolos.)

S

SAÍDA DE SINAL
O ponto onde o sinal deixa o amplificador.

SEÇÃO DE ALTA-TENSÃO
Um circuito que produz a alta-tensão necessária para operar o tubo de raios catódicos num receptor de TV.

SEGUIDOR DE EMISSOR
Circuito massa-coletor: o sinal de entrada passa para a base e o sinal de saída vem do emissor. O circuito comparável de válvulas é o seguidor de cátodo e o circuito equivalente com transistores FET é um seguidor de fonte.

SISTEMA
O conjunto eletrônico completo.

SISTEMA BINÁRIO
Um sistema de numeração baseado em dois símbolos, 0 e 1.

SISTEMA DE IMITAÇÃO
Uma forma de som quadrifônico no qual ocorre um retardo muito pequeno do sinal sonoro antes de o mesmo atingir os alto-falantes traseiros. Também chamado de som quadrifônico simulado.

SOBRECARGA
Fluxo excessivo de corrente.

SOM ESTEREOFÔNICO
Um sistema de áudio no qual o som provém de duas direções à direita e à esquerda do ouvinte.

SOM MONAURAL
Um som que vem apenas de uma direção.

SOM QUADRIFÔNICO
Um sistema de reprodução de áudio que utiliza quatro alto-falantes para proporcionar som ambiental.

SOM QUADRIFÔNICO CODIFICADO
Um tipo de som quadrifônico que apanha os sinais elétricos de quatro microfones e combina-os eletricamente em dois sinais. Também chamado de som quadrifônico de matriz.

SOM QUADRIFÔNICO DISCRETO
Um tipo de som quadrifônico no qual as saídas de quatro microfones são registradas em quatro pistas separadas. Na reprodução, cada pista é tratada como uma gravação separada para um sistema de quatro alto-falantes.

T

TABELA DE COMBINAÇÃO
Uma tabela que indica todas as condições sob as quais um circuito lógico irá operar.

TENSÃO DE SINAL DE VÍDEO
Uma tensão que depende a qualquer instante do número de elétrons secundários.

TENSÃO INVERSA DE PICO (TIP)
A tensão reversa máxima que pode ser aplicada sobre um diodo antes de ocorrer uma falha.

TIRISTOR
Um componente semicondutor com função de interruptor. Como exemplos, pode-se citar os triacs e os SCR's.

TRANSDUTOR ATIVO
Um transdutor que gera uma tensão que é proporcional à quantidade de energia fornecida.

TRANSDUTOR FOTORRESISTIVO
Um componente no qual alterações na energia luminosa produzem alterações na resistência.

TRANSDUTOR PASSIVO
Um transdutor no qual a energia sendo controlada produz alterações em resistência, capacitância ou indutância. Deve sempre ser ligado num circuito que possua uma fonte de energia elétrica.

TRANSISTOR FET CANAL P
Um transistor FET que utiliza apenas lacunas como portadores majoritários de carga. (Para símbolos, vide a seção de símbolos.)

TRANSISTOR JFET (TRANSISTOR DE JUNÇÃO COM EFEITO DE CAMPO)
Um transistor unipolar cujos portadores majoritários de carga são elétrons ou lacunas.

TRANSISTOR JFET CANAL N
Um transistor FET que usa somente elétrons como portadores majoritários de carga. (Para símbolos, vide a seção de símbolos.)

TRANSISTOR MOSFET TIPO AUMENTO
Um transistor MOSFET que não irá conduzir sem aplicação de polarização direta.

TRANSISTOR PNP
Um transistor que consiste de três camadas de material, duas do tipo N e uma do tipo P. É um componente amplificador de três terminais. (Para símbolos, vide a seção de símbolos.)

TRIAC
Um componente semicondutor com função de interruptor. Realiza a mesma função que um tiristor SCR exceto que o triac pode conduzir igualmente bem nos dois sentidos. (Para símbolos, vide a seção de símbolos.)

TRIODO
Um válvula de uma grade que permite sintonizar os receptores de rádio para sinais fracos de estações situadas a uma grande distância.

V

VARISTOR
Um resistor cuja resistência varia sensivelmente quando a tensão sobre o mesmo é alterada. Também chamado de Resistor Dependente de Tensão. (Para símbolos, vide a seção de símbolos.)

VÍDEO
Imagem.

RESISTORES

Resistor de valor fixo

Resistor variável

Resistor sensível à tensão (varistor)

CAPACITORES

Capacitor de valor fixo

Capacitor eletrolítico

+

+

Capacitor variável

INDUTORES

Indutor de valor fixo

Indutor de valor fixo com núcleo magnético

Indutor variável

TRANSFORMADORES

Transformador

Transformador com núcleo magnético

Transformador blindado com núcleo magnético

BATERIAS

Bateria de um elemento

+ −

Bateria de vários elementos

+ −

CRISTAIS

Cristal piezoelétrico

FONTES

Fonte de tensão constante

+

−

Fonte de corrente constante

Fonte osciladora de CA

LÂMPADAS

Lâmpada incandescente

Lâmpada de sinalização

Lâmpada pisca-pisca

Lâmpada neon

Tipo CC

Tipo CA

Lâmpada fluorescente de dois terminais

PROTETORES DE CIRCUITO

Fusível

Disjuntor

DISPOSITIVOS DE ÁUDIO

Alto-falante

AMPLIFICADORES

Amplificador de uma extremidade

Amplificador operacional Amplificador diferencial (ou comparador)

+

−

DIODOS

Diodo retificador (junção)

ÂNODO CÁTODO (K)

Diodo túnel

A BASE K

Diodo Schottky (quente)

A K

Diodo varactor (capacitância variável)

A K

A K

TRISTORES

Retificador controlado a silício

Bloqueio

A K

Interruptor controlado a silício(SCS)

A B_2 K

B_1

DIAC (Interruptor bidirecional)

T T

T T

TRIAC (Interruptor bidirecional com bloqueio)

T G T

TRANSISTORES

Transistores NPN

COLETOR

BASE

EMISSOR

Transistores PNP

C

B

E

Transistor Darlington NPN

C

B

E

Transistor unijunção com base tipo N

B_2

E

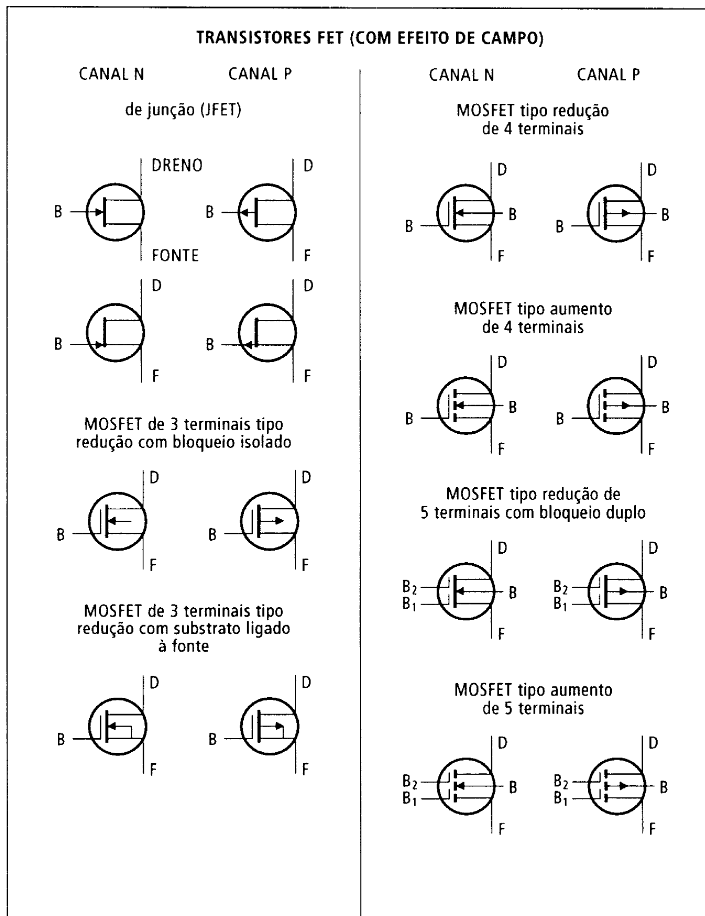
B_1

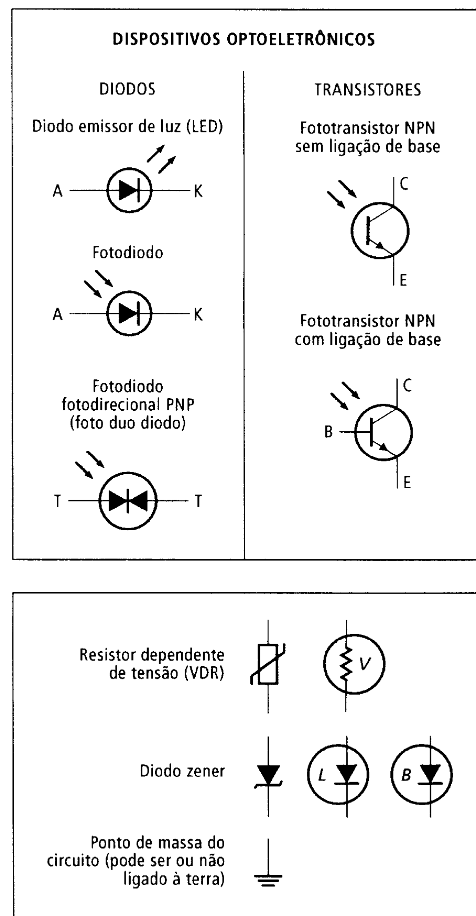
Transistor unijunção com base tipo P

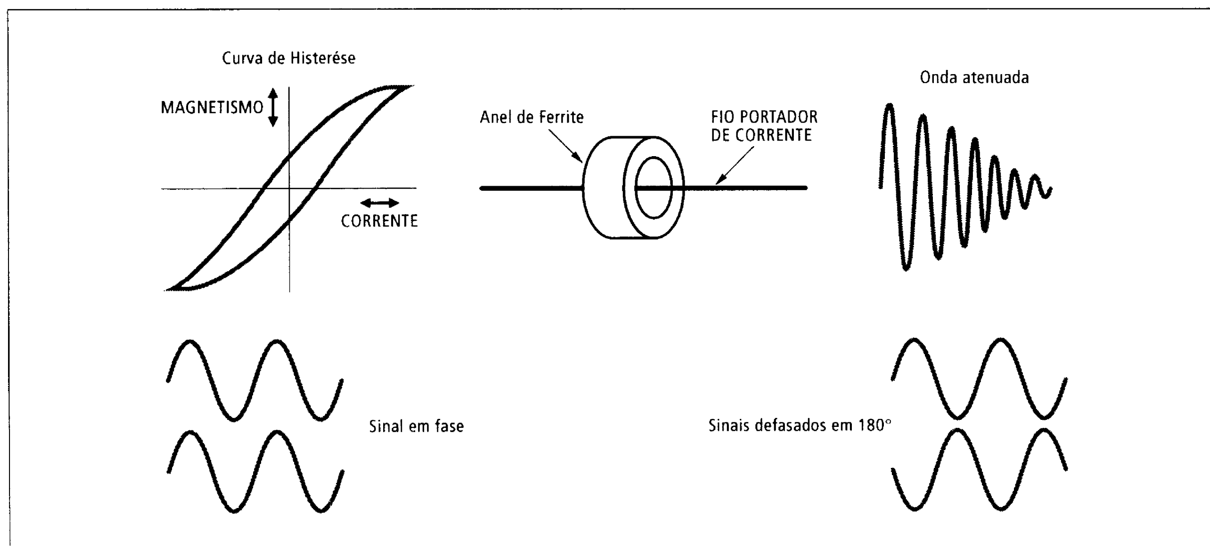
B_2

E

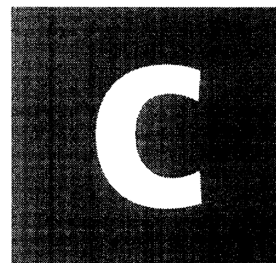
B_1


TRANSISTORES FET (COM EFEITO DE CAMPO)
CANAL N
CANAL P
de junção (JFET)
DRENO
FONTE
B
D
F
MOSFET de 3 terminais tipo redução com bloqueio isolado
MOSFET de 3 terminais tipo redução com substrato ligado à fonte
MOSFET tipo redução de 4 terminais
MOSFET tipo aumento de 4 terminais
MOSFET tipo redução de 5 terminais com bloqueio duplo
MOSFET tipo aumento de 5 terminais
B2
B1

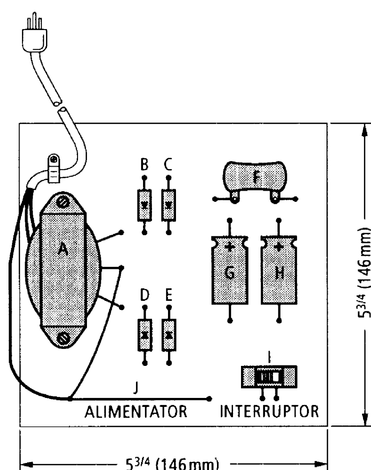

DISPOSITIVOS OPTOELETRÔNICOS
DIODOS
TRANSISTORES
Diodo emissor de luz (LED)
A
K
Fotodiodo
Fotodiodo fotodirecional PNP (foto duo diodo)
T
Fototransistor NPN sem ligação de base
C
E
Fototransistor NPN com ligação de base
B
Resistor dependente de tensão (VDR)
V
Diodo zener
L
B
Ponto de massa do circuito (pode ser ou não ligado à terra)


Curva de Histerése
MAGNETISMO
CORRENTE
Anel de Ferrite
FIO PORTADOR DE CORRENTE
Onda atenuada
Sinal em fase
Sinais defasados em 180°

Construção de placas de circuitos



PLACA PARA FONTE DE ALIMENTAÇÃO



LISTA DE PEÇAS

A **Transformador de potência**
Primário. 117 volts
Secundário. 12,6 volts, 2 ampères, derivação central

B, C, D, E **Diodos retificadores**
Silício, 2 ampères, 50 volts TIP

F **Resistor**
Com enrolamento de fio, 5 watts, 100 ohms

G, H **Capacitores**
Eletrolíticos, 250 microfarads, 50 volts

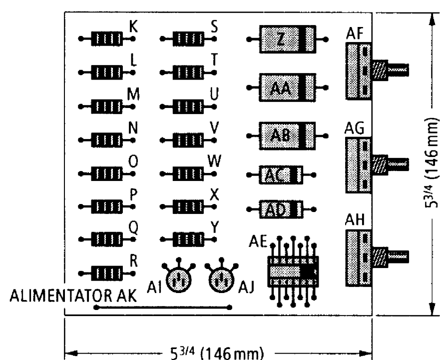
I **Interruptor**
Unipolar, simples efeito, 2 ampères

J **Alimentador**
Fio nº. 12 de cobre sólido

A placa de circuitos está projetada para permitir a adição de experiências para preencher os requisitos específicos de um instrutor. Alguns dos componentes como transistores e circuitos integrados possuem soquetes para permitir o uso de componentes mais novos e componentes de substituição do tipo universal.

Os componentes nas placas de circuitos são identificados com letras maiúsculas, isso para evitar qualquer confusão possível com letras e sufixos numéricos. Por exemplo, o capacitor eletrolítico *G* poderia ser chamado C_1 e C_2 (ou *C* com quaisquer sufixos numéricos) no diagrama esquemático da experiência. Portanto, não poderá ser chamado C_1 na placa de circuitos.

PLACA DE COMPONENTES 1



LISTA DE PEÇAS

K **Resistor**
1 watt, 47 ohms

L **Resistor**
1 watt, 220 ohms

M **Resistor**
1 watt, 330 ohms

N **Resistor**
1 watt, 470 ohms

O, P **Resistores**
1 watt, l000 ohms

Q, R **Resistores**
1 watt, 3,3 kilohms

S **Resistor**
1 watt, 4,7 kilohms

T, U, V, W, X, Y **Resistores**
1 watt, 10 kilohms

Z, AA, AB **Capacitores**
0,1 microfarad

AC **Capacitor**
0,05 microfarad

AD **Capacitor**
0,01 microfarad

AE **Soquete**
Circuito integrado, 14 pinos

AF **Resistor variável**
0 a 1 kilohm

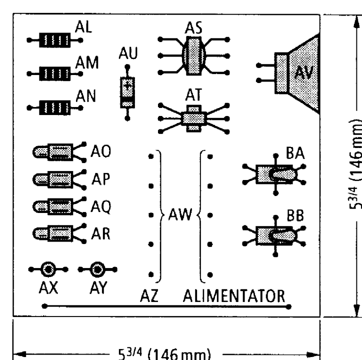
AG **Resistor variável**
0 a 10 kilohms

AH **Resistor variável**
0 a 50 kilohms

AI, AJ **Soquetes para transistores**

AK **Alimentador**

PLACA DE COMPONENTES 2



LISTA DE PEÇAS

AL, AM **Resistores**
1 watt, 47 kilohms

AN **Resistor**
1 watt, 470 kilohms

AO, AP **Lâmpadas**
12,6 volts

AQ, AR **Lâmpadas**
6,3 volts

AS **Transformador de saida de áudio**
0,4 watt
Impedância primária: 200 ohms*
Impedância secundária: 3,2 ohms*
Impedância secundária: 8 ohms*

* Dependendo da ligação feita.

AT **Relé**
Unipolar, duplo efeito, 6 volts CC

AU **Capacitor**
Eletrolítico, 1000 microfarads, 50 volts

Alto-falante
Tipo PM - 3 polegadas

Terminais para componentes não-montados

Interruptor de botão, normalmente fechado

Interruptor de botão, normalmente aberto

Alimentador

Interruptores
Bipolares, duplo efeito

PEÇAS ADICIONAIS

Circuitos Integrados
Temporizador 555
Amplificador operacional 741

Transistores
2N2219A ou GE 18 (2)
2N2905A (2)
2N5296 ou D44C8
(Transistores de potência)

Transistor com efeito de campo (Transistor JFET canal N)
2N4868 ou GE-FET-1

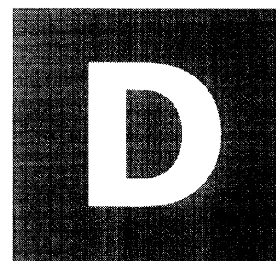
Transistor Unijunção
2N2646

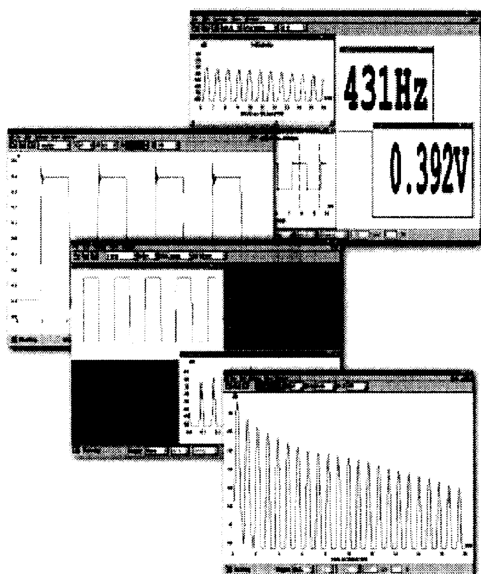
Cordão de força

SCR
C15F ou equivalente

LSR
Resistor dependente de luz, fotocélula de sulfeto de cádmio, número Archer 276.116 ou equivalente.

Instrumentação Virtual



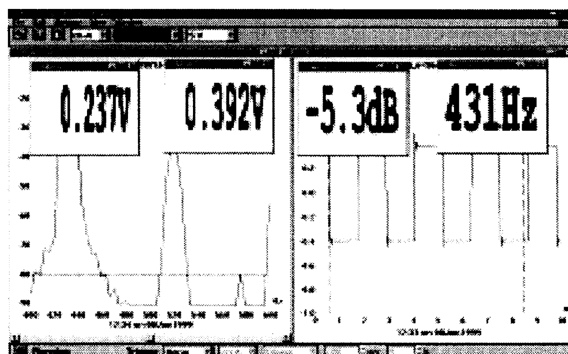


Com a difusão do uso do computador e a necessidade sempre crescente de agilizar experimentos, começaram a surgir novos instrumentos de medição. No lugar dos convencionais medidores de voltagem, freqüência, decibels, os laboratórios estão adotando um único equipamento, que em conjunto com um microcomputador, realiza todas as funções básicas de análise de um sinal elétrico. Esse instrumento é chamado de instrumento virtual e permite que o laboratório de pesquisa seja resumido a um computador portátil ("laptop") com uma pequena caixa de conversor AD.

Os instrumentos virtuais começaram a surgir na década de 80. Mas no início eram usados apenas em grandes centros de pesquisa dos Estados Unidos. Pouco depois chegaram à Europa, e, no Brasil, apareceram apenas em meados dos anos 90, quando o custo da nova tecnologia começou a ficar acessível. Quanto mais baixos os preços dos computadores foram se tornando, maior era a tendência de que instrumentos convencionais migrassem para dentro de um microcomputador. Hoje em dia, quase todas as leituras, da mais básica à mais específica, podem ser feitas por um instrumento virtual, que agora também é muito usado nas indústrias e em instituições de ensino.

Ele não só substitui os instrumentos convencionais básicos, como o osciloscópio, o multímetro, o voltímetro, o freqüencímetro e o gerador de áudio, como amplia seus recursos, facilitando o arquivamento de dados, e a realização de cálculos e comparações.

O QUE É UM INSTRUMENTO VIRTUAL?



O instrumento virtual é constituído basicamente por um *software* e por um conversor AD. O *software* é o grande diferencial, responsável por coordenar o *hardware* na recepção e conversão dos sinais elétricos. Graças ao *software*, o instrumento é virtual, ou seja, pode ser o que o usuário escolher — desde um simples voltímetro a um sofisticado registrador de gráficos, ou até mesmo todos os instrumentos de medição em um só.

Essa definição é baseada no programa selecionado. Mas para que todas as leituras estejam na tela do computador, é preciso que alguém receba os sinais elétricos e os transforme em informações que o computador entenda. Esse é o papel do conversor. Ele permite que o computador se comunique com o mundo real.

Fazem parte de um instrumento virtual:

- uma caixa formada por um circuito de entrada que recebe os sinais elétricos, um conversor AD e uma interface que faz a comunicação com o computador;
- uma unidade de controle, que pode estar dentro da caixa do instrumento virtual ou então ser o próprio computador;
- uma fonte de alimentação (ver pág. 149), que pode ser externa ou o sinal do próprio computador;
- e o *software* com todas as opções de programas.

A caixa é ligada a outros acessórios ao computador por meio de um cabo comum. Pode ser por meio da porta paralela, da entrada da impressora, ou pela porta serial, normalmente usada para o mouse ou para o *modem*. Hoje há também uma terceira opção de entrada, que é a USB (*Universal Serial Bus*, ou Barramento Serial Universal). Uma nova tecnologia ainda não muito conhecida, que começou a ser usada recentemente, e tende a substituir as portas paralela e serial.

Para ligar o instrumento virtual ao objeto em estudo, basta um jogo de pontas de prova, as mesmas usadas pelos instrumentos convencionais.

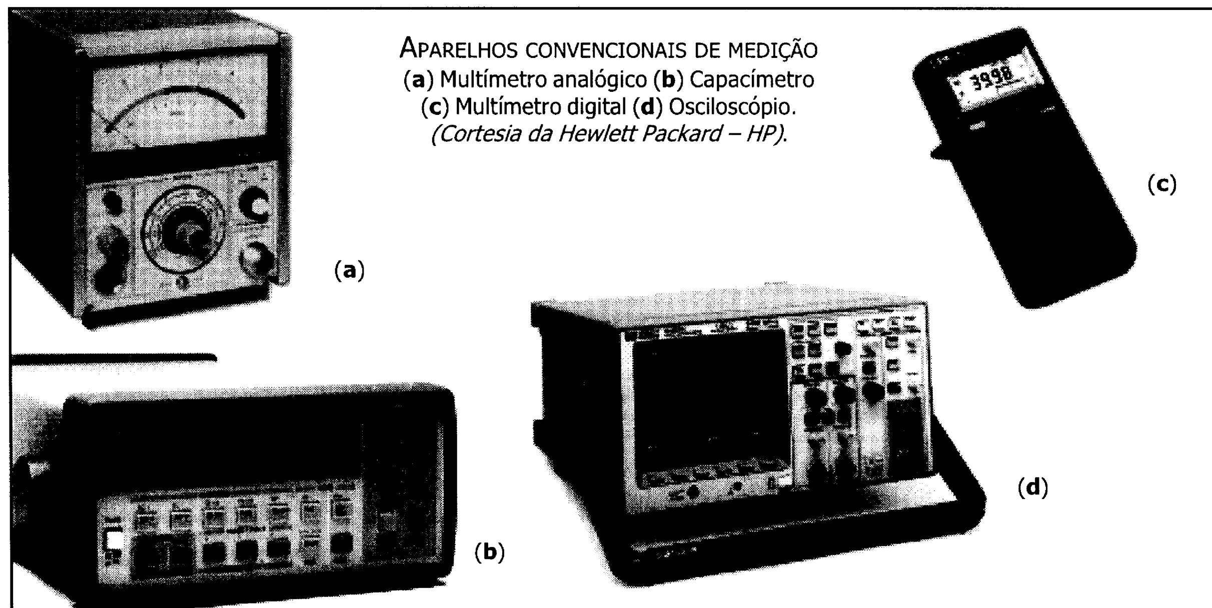
Com o instrumento virtual, todos os comandos que no instrumento convencional são botões no painel, passaram para a tela do computador e podem ser facilmente acionados. O instrumento convencional independe do computador, tem sua própria tela e comandos, às vezes usando o computador como um acessório. Por esse motivo, para cada tipo de medição é necessário um instrumento diferente.

No caso do instrumento virtual, tudo é interno ao computador. A caixa tem o mínimo possível de funções e quem executa as tarefas de medição é o computador. Com a caixa do conversor e o *software*, o instrumento virtual pode funcionar no computador do próprio usuário. Ele funciona em qualquer PC (mesmo em um 286) e está disponível em DOS ou em Windows. A vantagem do DOS é a velocidade. O Windows é mais lento, mas por outro lado oferece um ambiente mais amigável, mais fácil de trabalhar.

O instrumento virtual inclui todos os instrumentos básicos da eletrônica, como o osciloscópio, o multímetro, o gerador de áudio e a fonte de alimentação. Além de alguns mais específicos e sofisticados, como o analisador de espectro, o traçador de curva de transistor e o registrador gráfico.

Quais as vantagens de um instrumento virtual?

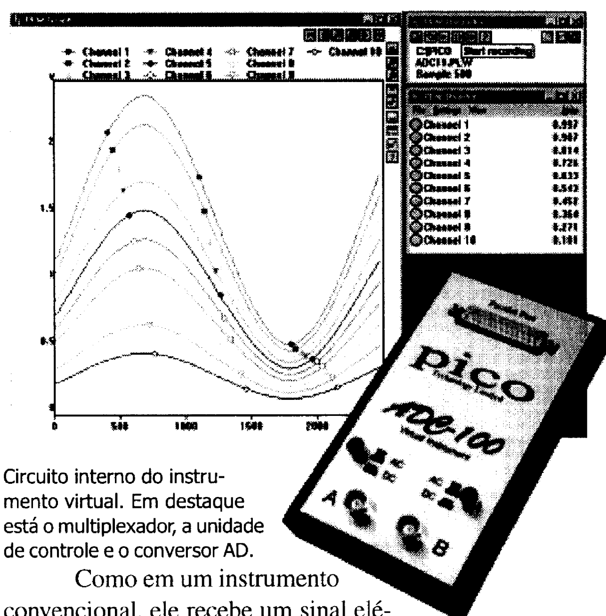
Facilidade de transporte, porque o equipamento todo consiste em uma pequena caixa que pode ser conectada a um computador portátil. Essa caixa, dependendo do modelo, mede de 60x55x15 mm a 200x140x35



APARELHOS CONVENCIONAIS DE MEDIÇÃO
(**a**) Multímetro analógico (**b**) Capacímetro
(**c**) Multímetro digital (**d**) Osciloscópio.
(Cortesia da Hewlett Packard – HP).

mm (um osciloscópio tradicional pode medir 800x500x200 mm); redução de custo, pela redução do tamanho do instrumento e do tempo gasto em um experimento, já que ele pode funcionar como vários instrumentos de medição ao mesmo tempo; facilidade no arquivamento de dados. Tudo o que é analisado, pode ser registrado em disquetes ou no HD do microcomputador, enquanto em instrumentos convencionais, é preciso anotar dados; facilidade para a transmissão de dados, que podem ser enviados pela Internet ou por fax. Um técnico pode também fazer uma análise remotamente, conversando por telefone com a pessoa que manipula os circuitos em teste e recebendo os gráficos e tabelas no computador.

COMO FUNCIONA O INSTRUMENTO VIRTUAL?



Circuito interno do instrumento virtual. Em destaque está o multiplexador, a unidade de controle e o conversor AD.

Como em um instrumento convencional, ele recebe um sinal elétrico, que pode ser de tensão ou de corrente, através das pontas de prova. As pontas de prova são fios que ligam o objeto no qual está sendo realizado o experimento ao instrumento de medição. No caso do instrumento virtual, o circuito de entrada pode receber sinais de mais de um objeto e transformá-los em um sinal que o conversor AD (analógico digital) pode entender. Dependendo do equipamento, o circuito de entrada tem um multiplexador que é quem permite a recepção de mais de um sinal em diferentes canais. A função do multiplexador é então a de ampliar a capacidade do conversor AD de apenas uma conversão para várias. Ele consegue isso atuando como um organizador, que coloca em fila os diferentes sinais para que eles entrem no conversor um de cada vez e em ordem. Os canais vão sendo convertidos em seqüência e reorganizados de forma que no computador eles apareçam novamente todos juntos. O conversor AD realiza as conversões uma de cada vez, mas muito rapidamente, de forma que para a pessoa que faz as medições, as informações parecem chegar simultaneamente.

No conversor AD, o sinal elétrico (ou seja, o nível de tensão que varia linearmente) é transformado em digital (valor numérico) e pode então ser processado diretamente pela CPU do computador. Mas para que esse dado chegue à CPU é preciso que ele passe antes por uma interface digital. Ela é quem envia os dados do instrumento virtual para dentro do computador. E também é responsável por comandar, caso haja mais de um instrumento virtual, qual será analisado primeiro.

Além disso, existe também uma unidade de controle, que está intimamente ligada a todas as outras partes, ou seja, à interface, ao conversor AD e à entrada. Ela determina tudo o que acontece dentro do instrumento virtual: qual o canal a ser lido, qual a taxa de amostragem (ou seja, quantas leituras por segundo vão ser feitas), onde os dados serão armazenados, ou mesmo se haverá acoplamento de corrente contínua ou não. A unidade de controle coordena as funções segundo os comandos que recebe do computador via interface.

Com todos os dados já no computador, o programa instalado coloca na tela todos os comandos do instrumento virtual. O usuário escolhe quais as medições vai fazer, os parâmetros para essas medições e recebe todos os dados no computador.

Existem dois tipos de instrumentos virtuais: os internos e os externos. Os internos consistem em uma placa que deve ser instalada dentro do micro, da mesma forma que uma placa de vídeo ou de *modem* interna. Basta escolher um *slot* livre, colocar a placa no microcomputador e depois instalar o *software*.

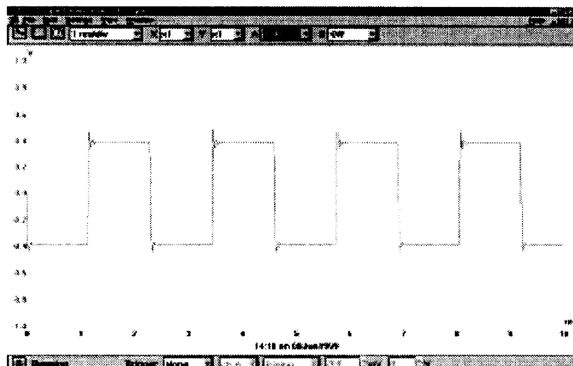
Os mais comuns são os externos (cerca de 80%), que não exigem que o computador seja aberto. Normalmente são instalados como uma impressora. A vantagem do instrumento externo é que ele pode ser ligado a um computador portátil.

Depois de instalado o *hardware*, o passo seguinte é instalar o *software*, que vem em CD-ROM ou disquete e é o mesmo para qualquer modelo de instrumento virtual. A instalação é igual a de um programa convencional. Ele possui diferentes programas que de-

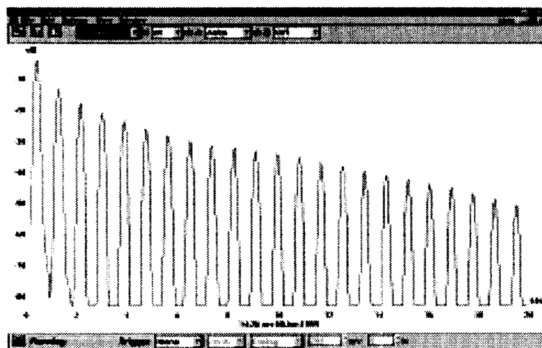
vem ser selecionados pelo usuário conforme o modelo do *hardware* e as medições que ele pretende fazer.

AS FUNÇÕES DO INSTRUMENTO VIRTUAL

Osciloscópio – o instrumento virtual funciona como um osciloscópio, ou seja, mostra o sinal ou tensão elétrica em função do tempo. A medição é rápida, cíclica e de curta duração. É digital e tem memória, possuindo também um cursor para medida de tensão e de freqüência. Ele permite que sejam visualizadas simultaneamente diversas telas de medições diferentes.

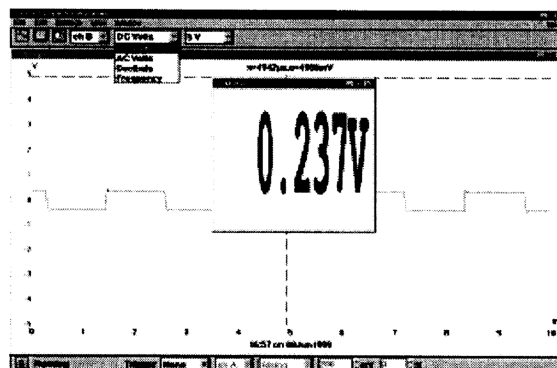


Analisador de espectro – usando a técnica FFT *(Fast Fourier Transformer*, ou transformada rápida de Fourier), mostra variações de sinais elétricos em função da freqüência.

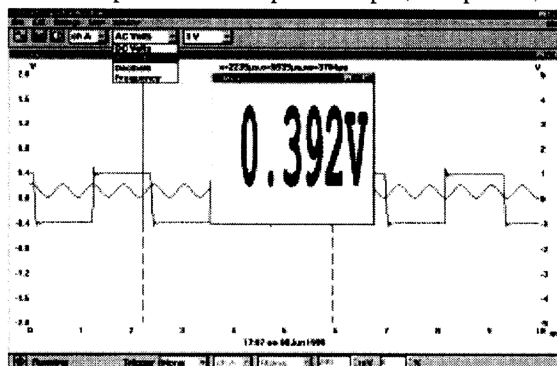


Voltímetro digital – para medição de corrente contínua (DC ou CC).

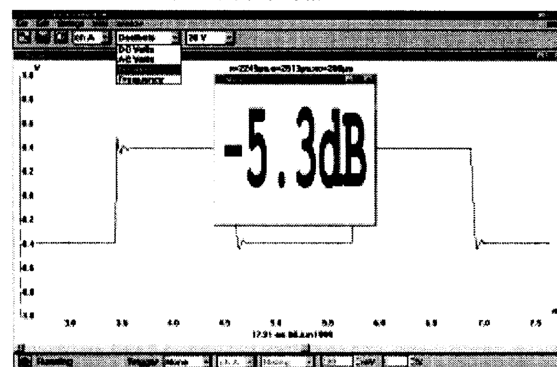
Utilizado também para corrente alternada, *True RMS*, que avalia o valor real independente da forma da onda. Em instrumentos convencionais, a medição é geralmente feita supondo que o sinal seja uma senóide



(como o da corrente que temos em uma tomada comum). Mas nem sempre o sinal possui essa forma de onda. Um aparelho de TV por exemplo, tem pulsos, on-



das triangulares e diversas formas de onda. Se o instrumento de medição usado avalia todas as ondas como senóides, ele vai ler valores errados. Para evitar esse tipo de erro, é usado o sistema True RMS que verifica o valor real da forma de onda.

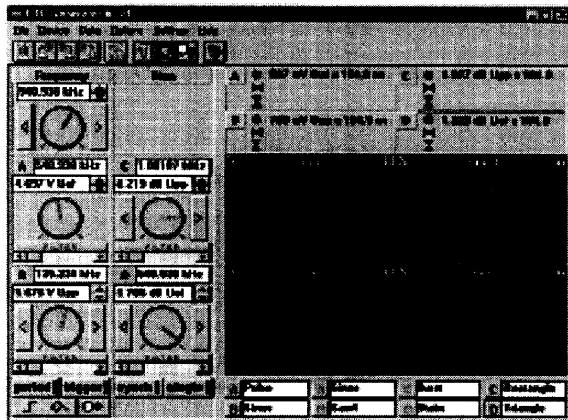


Indicador de decibels (Db) – é a forma logarítmica para identificar um sinal.

Freqüencímetro digital – mede a freqüência fundamental de um determinado sinal.

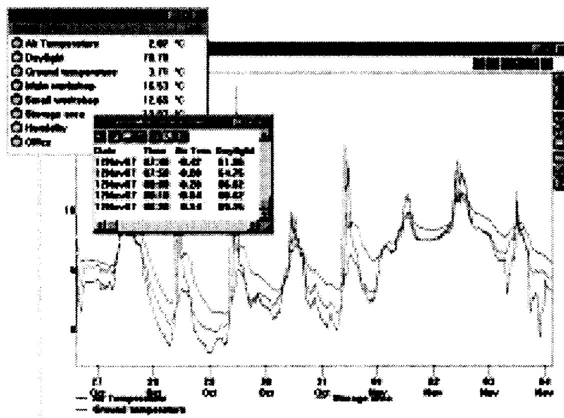
Registrador gráfico – tem função semelhante a do osciloscópio, mas para um medição contínua e de longa duração.

Gerador de áudio – instrumento que existe como virtual, mas em geral separado das outras funções. É o gerador arbitrário de sinais.



Fonte de alimentação – converte a energia em corrente alternada em corrente contínua.

Traçador de curva – traça as curvas características de 1 transistor de maneira a poder selecioná-lo.



Programa variável – o usuário pode inventar seu próprio instrumento. Se nenhum dos anteriores for adequado, o *software* permite que seja programada uma nova função para outras medidas de tensão, com a utilização de uma linguagem de programação tradicional.

COMO INSTALAR O INSTRUMENTO VIRTUAL?

Em geral o kit do instrumento virtual é composto por um cabo, uma caixa, o *software* e a fonte de alimentação.

Para instalar o instrumento virtual externo (o mais comum) basta conectar o cabo à porta paralela (a da impressora ou em uma adicional) do computador desligado. Ligar a fonte de alimentação na tomada e conectar à caixa do instrumento virtual. A ponta de prova é como a dos instrumentos convencionais.

Depois de instalado o *hardware*, vem a instalação do *software*. São colocados os disquetes na unidade de disco flexível. O primeiro passo é abrir o disquete no Windows. Ele vai abrir uma tela com o Winstall (instalação no Windows), que pergunta:

- a linguagem a ser usada;
- o diretório onde será instalado;
- o sistema operacional;
- o produto (modelo do instrumento virtual);
- a porta onde será conectado o instrumento virtual.

Uma Segunda tela oferece as opções do programa. No caso do instrumento virtual que usamos, as opções são:

- *picoscope* – que simula os instrumentos de medição como o osciloscópio, o multímetro, o freqüencímetro, o analisador de espectro etc;
- *picolog* – que simula o registrador gráfico;
- *16 bits drivers* – drivers para o usuário fazer a programação do instrumento personalizado usando linguagem tradicional;
- *32 bits drivers* – simula aos de 16 bits, mas para ser usado em Windows 95, 98 e NT.

Depois vem a escolha do grupo onde estarão todos os programas e por último a leitura dos outros disquetes de instalação.

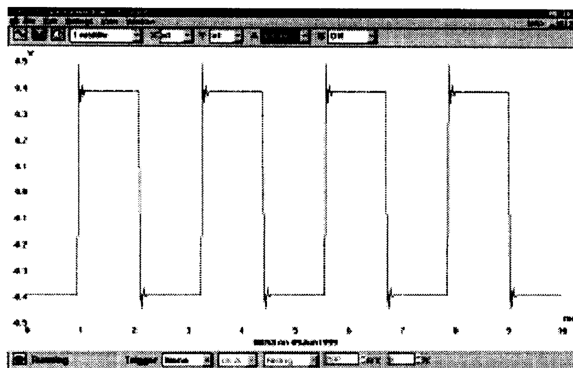
Após a instalação de todos os disquetes, o microcomputador deve ser reinicializado e estará pronto para ser usado.

COMO FUNCIONAM OS PROGRAMAS?

■ PICOSCOPE

O *Picoscope* é o programa principal, que permite ao usuário fazer as principais medições, com o osciloscópio, o voltímetro, freqüencímetro ou o analisador de espectro. A vantagem é que eles podem ser visualizados um de cada vez ou todos ao mesmo tempo na tela do computador, permitindo a realização de comparações sobre um mesmo sinal ou até sobre sinais diferentes. Por estarem no computador, todos os dados podem ser impressos, armazenados e enviados por fax ou correio eletrônico. E todas as formas de onda podem ser cortadas e coladas em processadores de texto ou em qualquer aplicação do Windows.

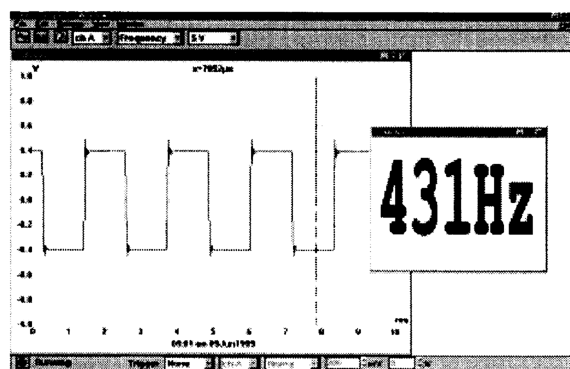
■ OSCILOSCÓPIO



O *Osciloscópio* do *Picoscope* é digital e em tempo real. É ligado facilmente, bastando acionar um ícone (vermelho) da tela principal. O gráfico do osciloscópio aparece em outra tela, com todas as funções básicas de um instrumento convencional, além dos recursos do computador. A tela é de tamanho variável e oferece acesso rápido às funções principais por meio da barra de ferramentas (substitui os botões do instrumento convencional). Nela estão as opções de escalas de entrada (volts e tempo), que são fixadas pelo usuário ou deixadas no automático (o próprio programa escolhe o parâmetro adequado). Depois de escolher os parâmetros para a análise, o usuário pode ainda optar por visualisar os valores como gráfico ou tabela. Também pode ver ao mesmo tempo os valores de outra faixa de varredura do mesmo sinal ou de outro sinal (há um ícone para a escolha de canais de recepção), com cor diferenciada. Eles aparecem em gráficos e tabelas diferentes, ou na mesma, fazendo a comparação. Além disso, para facilitar as análises, a retícula indica diretamente as tensões e com o uso de cursores é possível saber diretamente as variações de amplitude e tempo.

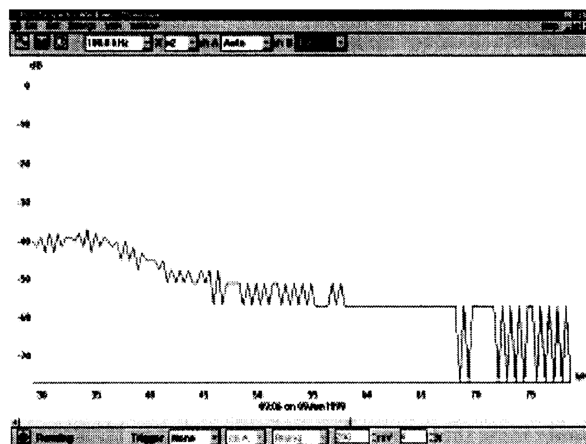
Outro recurso diferenciado são as opções de *trigger* ("gatilho" que determina quando iniciar o registro. Esta opção sincroniza as varreduras para que elas comecem sempre no mesmo ponto). O *Picoscope* tem dois tipos especiais de *trigger* para ajudar na captura de variações únicas do sinal (sinais não repetitivos). O primeiro é o modo de sobreposição de tela, que destaca qualquer diferença de sinal mesmo que ela tenha ocorrido apenas uma vez. O segundo é o modo que permite armazenar no disco toda vez que o *trigger* for acionado. Com esse recurso o equipamento pode funcionar por longos períodos e toda vez que ocorrer uma mudança, na forma de onda será gravada no disco rígido com data e hora. O *trigger* pode ser também pré ou pós. O *pré-trigger* registra um tempo antes do evento e o *pós-trigger* atrasa o registro depois do evento (atrasos em passos de 1%). Ele pode ser disparado automaticamente (auto), repetidas vezes (repetir) ou apenas em um evento (só). Todos esses recursos estão na barra de ferramentas.

■ INDICADORES DIGITAIS



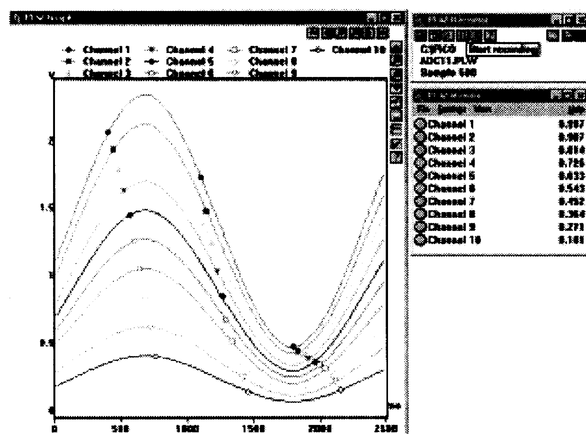
Acionando um ícone (o que parece um relógio) da tela do *Picoscope*, ligamos o indicador digital que funciona como freqüencímetro, voltímetro ou indicador de decibels. Aqui também as funções básicas estão disponíveis na barra de ferramentas, as telas são de tamanho variável e podem mostrar simultaneamente medições diferentes. É possível visualizar simultaneamente as telas de decibels, freqüência, voltagem, de um mesmo sinal e de sinais diferentes. O usuário escolhe as escalas de medida, os canais a serem analisados e o tipo de corrente, alternada ou contínua.

■ ANALISADORES DE ESPECTRO



Enquanto o osciloscópio mostra a tensão em função do tempo, o analisador de espectro (ícone amarelo) mostra em função da freqüência. O analisador de espectro fornece uma tela em tempo real da freqüência por amplitude, permitindo a avaliação de componentes de ruído, respostas em freqüência, distorções harmônicas e por intermodulação. Ele também é bastante usado em experiências didáticas tais como modulação, ruídos, controle de potência etc. Possui as mesmas opções de *trigger* do osciloscópio e também os recursos de visualizar várias telas simultaneamente e de fazer cálculos com o uso dos cursores (para amplitude e freqüência). Ambos os eixos do gráfico funcional possuem tanto escala linear quanto logarítmica.

■ PICOLOG



Enquanto o *Picoscope* faz medições rápidas (a mais lenta dura 50 segundos), o *Picolog* é utilizado para medições de longo prazo, como, por exemplo, a medição da variação da carga de uma pilha ou da temperatura em um mês. Basicamente é um instrumento de medição longa e contínua (é o equivalente ao *datalogger* ou ao registrador gráfico dos instrumentos convencionais) enquanto o *Scope* é utilizado para medição rápida, cíclica e de curta duração.

O *Picolog* é um sistema para coleta, que analisa e recebe dados. Cada amostra armazenada pode ser a mínima, a máxima ou a média de um determinado conjunto de medidas. Ele permite que o usuário escolha todos os parâmetros de coleta de dados e de cálculos, de forma que a leitura final visualizada na tela seja direta, independente do sensor utilizado e dos cálculos feitos. Até mesmo o cálculo entre sinais de canais diferentes, um com tensão e outro com corrente, por exemplo, é direto, fornecendo apenas o resultado (no caso a potência).

Esses resultados podem ser visualizados, armazenados e impressos em forma de gráfico ou de tabela. O programa também tem um sistema de linearização para sinais não lineares, utilizando métodos de zero e ganho, da tabela e de equações matemáticas.

Para usar o *Picolog*, é preciso definir antes os parâmetros para a análise:

- ■ modelo do instrumento virtual;
- ■ porta pela qual foi conectada ao computador;
- ■ *recordings*: em tempo real (contínua e em tempo real), *fast block* (pré-definida e não contínua, usada muito para transientes) e nenhuma;
- ■ *samplings*, ou seja, o intervalo para a coleta de dados e o número de amostras;
- ■ *calculated parameters*: ele permite que o usuário insira uma equação de conversão para que o programa calcule o valor do sinal de tensão em uma outra grandeza (qualquer grandeza que possa ser medida a partir do sinal elétrico, como, por exemplo, a temperatura, o pH, a umidade).

Depois de configurar os parâmetros, o *Picolog* abre uma tela "*monitor*", que acompanha o valor do teste no instante, e outra tela "*recorder*", que fornece o nome do arquivo e no número de registros (*sample*). Em seguida todos os valores captados na experiência podem ser mostrados como tabela *spreadsheet* ou como gráfico.

■ DRIVERS DE PROGRAMAÇÃO

(16 bits e 32 bits):

O *driver* é o intermediário entre *software* (linguagem de programação) e *hardware*. Existem *drivers* de *modem*, de placa de vídeo e existem os de aquisição de dados. No *software* do instrumento virtual são disponibilizados dois *drivers* de aquisição de dados para que o usuário possa criar seu próprio programa, usando as linguagens tradicionais de programação, como C, Pascal, Delphi, Visual Basic, VB Excel, Visual Foxpro e outras compatíveis com o padrão DLL/ActiveX do Windows. Entre as aplicações de programação estão gigues de teste, painéis sinópticos, análise de sinais de medida e central de medições de pontos remotos. Ou seja, se nenhuma das funções básicas oferecidas pelos programas anteriores (*Picoscope* e *Picolog*) for adequada ao seu experimento, é possível elaborar um programa personalizado com os recursos oferecidos aqui.

Para exemplificar, citamos a seguir todos os passos para uma programação simples, de caráter didático, que pode ser feita com os conceitos básicos. Usaremos a linguagem Delphi da Borland para fazer um programa de teste da carga de uma bateria, com uma pequena barra de deslocamento (proporcional à tensão da bateria), um indicador digital (com o valor da bateria) e luzes que indicam a situação da bateria (verde, amarela e vermelha).

Programação:

O primeiro passo para essa programação é incluir a declaração de constantes (abaixo), que tem como objetivo declarar ao Delphi de maneira fácil todas as funções que estão disponíveis no *driver* e também alguns dos parâmetros.

```
implementation
const
port = 1;
{$DEFINE ADC42}
{$I adc10.inc}
```

A primeira definição de constante é `port = 1`. Ela indica que o módulo `ADC42` estará conectado à porta Lpt1.

A segunda linha, `$DEFINE ADC42`, informa que o módulo utilizado é o `ADC42`. É ela quem configurará as funções de acordo com o módulo escolhido.

A terceira linha, `$I adc10.inc`, inclui o arquivo `adc10.inc`. Ele contém todas as funções que permitem a comunicação entre o Delphi e o módulo. Observe que este arquivo é genérico e pode ser utilizado por diversos modelos de ADC, tais como `ADC10`, `ADC12`, `ADC40` e `ADC42`. Neste caso, escolhemos o `ADC42` que está definido na segunda linha (`$DEFINE ADC42`).

É importante notar que os arquivos `adc10.inc` e `adc1031.dll` devem estar presentes no diretório de seu Projeto. Eles são os *drivers* reais.

Após esse passo, as seguintes funções estarão disponíveis para seu programa:

```
function adc10_get_driver_version
   : word;
```

Informa qual é a versão do *driver* utilizada e permite que seu programa verifique se o *driver* é compatível com o o que está sendo utilizado para a programação.

```
function adc10_open_unit
  (port : word;
  product : word)
  : boolean;
```

Inicializa a comunicação do Windows com o módulo, reservando toda a memória necessária e inicializando todas as variáveis de controle de acordo com o velocidade e a característica do computador utilizado.

```
function adc10_close_unit
  (port : word)
  : boolean;
```

Tem função inversa a mencionada anteriormente, ou seja, finaliza a comunição com o módulo, liberando toda a memória e os recursos do sistema que estavam sendo utilizados.

```
function adc10_set_unit
  (port : word)
  : boolean;
```

Usada somente quando mais de um `ADC42` é utilizado na mesma máquina. Tem como objetivo selecionar qual será o modulo que receberá o comando a partir dessa chamada.

```
function adc10_get_unit_info
  (var str;
  lth : word;
  line : word;
  port : word)
  : word;
```

Tem duplo objetivo – de informar qual é o erro caso o módulo não abra, ou retornar a versão do *driver* e a taxa de amostragem caso o módulo tenha sido aberto com sucesso.

```
procedure adc10_set_trigger (
  enabled : boolean;
        auto_trigger : boolean;
        auto_ms : word;
        falling : boolean;
        threshold : word;
  delay : shortint);
```

Essa rotina define qual será o evento de disparo (*trigger*) para o próximo bloco de dados a ser coletado. Também determina o atraso entre o disparo e o início da coleta do bloco de dados. Observe que o atraso pode ser negativo, que significa um adiantamento (*pré-trigger*).

```
function adc10_set_interval
  (us_for_block : longint;
  ideal_no_of_samples : longint)
  : longint;
```

Essa rotina determina a taxa de amostragem e o número de amostras a serem coletadas, sendo que o valor de retorno é igual ao tempo total necessário para se fazer a coleta.

```
function adc10_get_value
  : word;
```

Essa função tem um valor individual e não de um bloco, sendo independente de *trigger*.

```
function adc10_get_values
  (var buffer;
  no_of_values : longint)
  : longint;
```

Função que inicia a coleta dos dados definidos pela função adc10_set_interval.

```
function adc10_get_times_and_values
  (var times;
  var values;
  no_of_values : longint)
  : boolean;
```

Idêntica à função adc10_get_values, mas retorna valores de tensão em conjunto com o valor de tempo, ou seja, um par x/y proporcional a tensão/tempo.

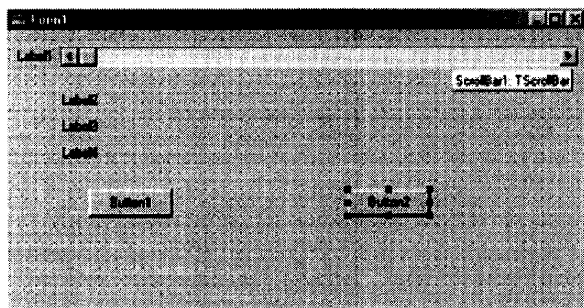
Agora vamos começar a construir um exemplo didático de programação de um instrumento virtual para determinar o nível de carga de uma bateria de 4,5 V. Iremos considerar a bateria boa caso a tensão esteja acima de 4V, em situação crítica entre 3,5 e 4V e descarregada abaixo de 3,5V.

Em vez de gráficos, usaremos recursos mais visuais: a tensão será mostrada por uma barra que se movimentará proporcionalmente à sua variação, um indicador digital para a tensão do momento da medição e três "lâmpadas" (vermelha, amarela e verde) para indicar o estado das baterias.

Na barra de componentes *Standard* (Padrão) do Delphi vamos selecionar:

- 4 Labels (Rótulos)
- 1 ScrollBar (Barra de Rolagem)
- 2 Botões

Os elementos podem ser dispostos no formulário conforme a figura a seguir:



Em seguida, selecione o Label 2. Indo ao *object inspector* (Inspetor de Objeto) e selecionando a propriedade *Caption* (Título) ela deverá ficar branca. Mudar o *caption* de Label 2 para quatro espaços, ou seja, ela ficará vazia mas com quatro espaços digitados que não irão aparecer.

Clicando duas vezes na propriedade *Color* (Cor) aparecerá uma caixa de seleção de cores. Escolha a cor verde e clique em OK.

Depois selecione a propriedade *Name* (Nome) e mude-a para Luz Verde. A nossa luz verde está pronta.

Usando os mesmos procedimentos para o Label 3 e 4 criamos a Luz Amarela e a Luz Vermelha.

Com Label 3:

Digitar quatro espaços em *Caption*

Selecionar a cor amarela com duplo clique em *Color*.

Alterar *Name* para Luz Amarela.

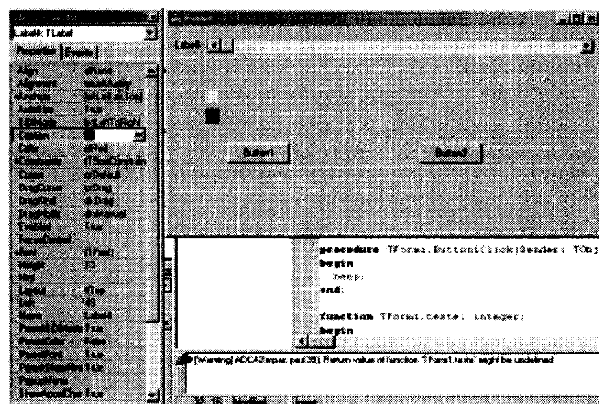
Com Label 4:

Digitar quatro espaços em *Caption*.

Selecionar a cor vermelha com duplo clique em *Color*.

Alterar *Name* para Luz Vermelha.

A tela deverá ficar parecida com a figura a seguir.



Em seguida altere o *Caption* de Label 1 para 0 e seu nome para valor.

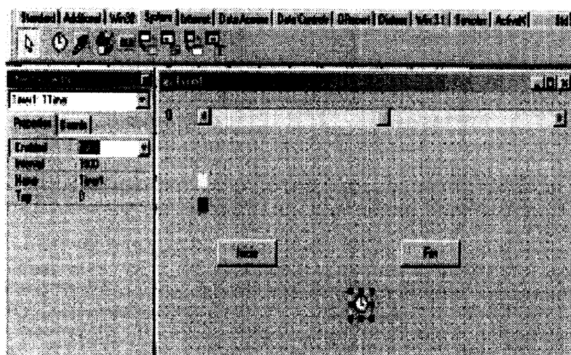
Selecione o *ScrollBar* (a barra grande) e mude seu nome de *ScrollBar1* para Barra, sua Propriedade Max para 4095 (esse valor é igual à contagem máxima do ADC 42, pois ele é de 12 bits).

Selecione o primeiro botão (*Button 1*) mudando o seu label para Início.

Selecione o segundo botão (*Button 2*) mudando o seu Label para Fim.

Com a barra *System* do Delphi, inclua um componente *Timer* (Cronômetro) e selecione a sua propriedade *Enabled* para *False*.

O aspecto final da parte visual de nosso programa será o seguinte:



Dê um duplo clique no *Button 1* (Início) para acessar a tela de codificação de programas, onde vamos escrever o nosso programa.

```
procedure TForm1.Button1Click(Sender:
TObject);
    begin
      if adc10_open_unit (1, 42) then
       Timer1.Enabled := True
      else
       ShowMessage('Modulo não encon-
trado');
    end;
```

Nesta fase, abrimos o módulo ADC e liberamos o *Timer* para redisparar a cada um segundo.

Em seguida, dê um duplo clique no botão Fim, para digitar o código de finalização do programa.

```
procedureTForm1.Button2Click(Sender:
TObject);
   begin
     adc10_close_unit(1) ;
     Timer1.Enabled := False;
     Application.Terminate ;
   end;
```

Paramos o *Timer* e fechamos o módulo ADC, assim como todo o programa.

Agora dê um duplo clique no *Timer* para poder digitar a rotina principal.

```
procedureTForm1.Timer1Timer(Sender:
TObject);
Var ValorLido : Integer;
begin
  ValorLido := adc10_get_value;
  Valor.Caption := IntToStr(ValorLido);
  Barra.Position := ValorLido;
  if ValorLido < 3468 then
   begin
   LuzVerde.Visible := False;
   LuzAmarela.Visible := False;
   LuzVermelha.Visible := True;
  end
else
 if ValorLido > 3481 then
  Begin
   LuzVerde.Visible := True;
   LuzAmarela.Visible := False;
   LuzVermelha.Visible := False;
  end
else
  Begin
   LuzVerde.Visible := False;
   LuzAmarela.Visible := True;
   LuzVermelha.Visible := False;
  end;
end;
```

A rotina do *Timer* é a alma da nossa aplicação, sendo responsável pela leitura do valor AD por meio da função `ADC10_get_value`.

O acionamento da barra gráfica é feito com a propriedade *Position* da barra.

A decisão de qual lâmpada acender ou não é feita pela propriedade `Visible` em conjunto com as decisões `if` em função do valor de tensão lido.

É importante observar que o ADC42 mede no intervalo de - 5 V a + 5 V. Ele indicará o valor 0 quando o sinal for - 5 V e o valor 4095 quando o sinal for + 5 V. Sendo assim, temos que calcular qual é o valor para os pontos de alarme desejados ou seja, +3,5 V e 4,0 V.

Sendo - 5 V = 0 e +5 V = 4095 chegamos à conclusão de que cada contagem equivale a 10/4095 V.

Como 3,5 V é um sinal positivo, também devemos considerar o espaço entre - 5 V e 0. Para efeito de cálculo, +3,5 V equivale a 8,5 V quando referenciado ao início da contagem (- 5 V). Portanto:

3,5 V = 8,5 x 4095/10

3,5 V = 3480,75

Como o sistema de contagem é de valores inteiros, devemos arredondar para 3481. E este será o nosso limite de disparo para 3,5 V.

Para 4 V calculamos:

4,0 V = 9 x 4095/10
4,0 V = 3685,5

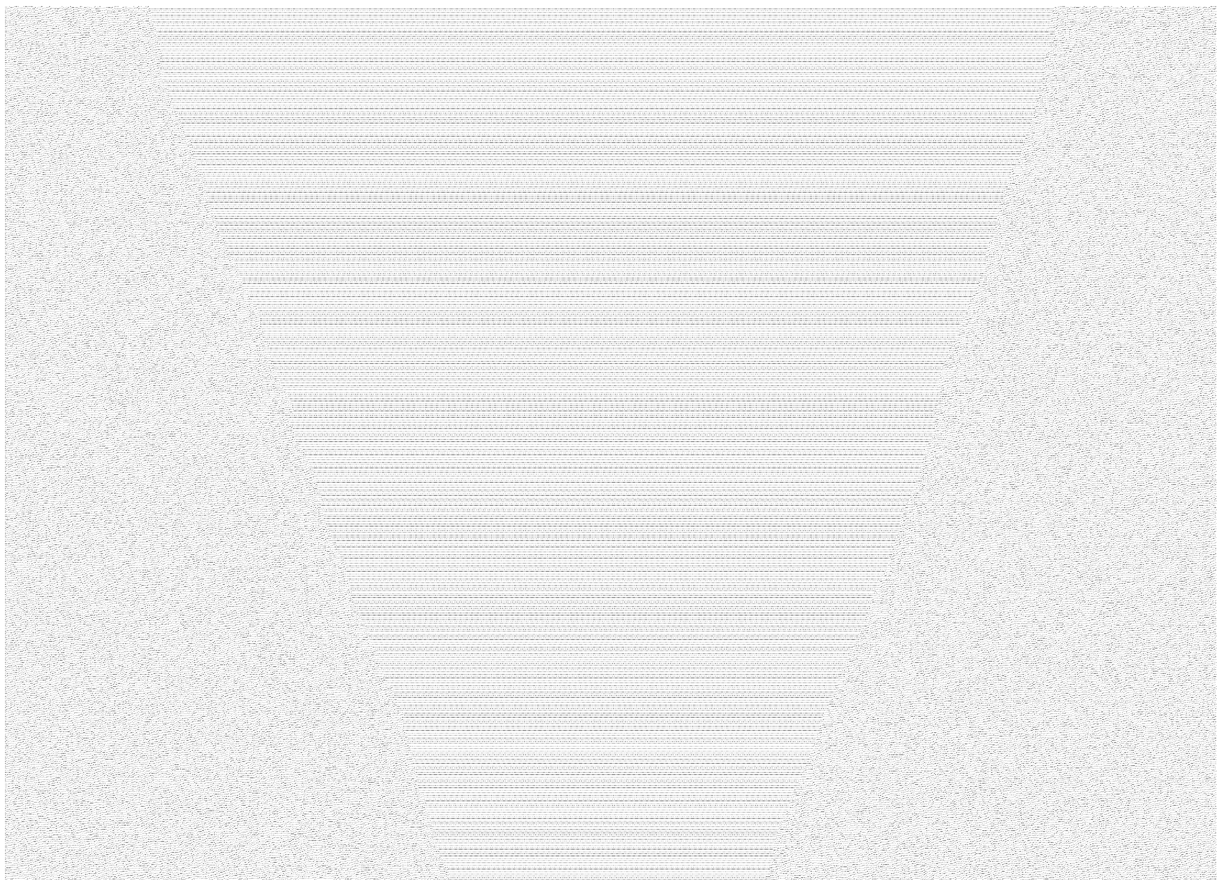
Nosso segundo limite será de 3686 contagens.

Como você pode notar, já temos a nossa aplicação pronta e funcionando de maneira bem simples. Lembrando que é possível projetarmos e programarmos aplicações muito mais complexas que esta, com envolvimento de Internet, placas de controle e rede, permitindo a programação de sistemas realmente complexos para uso industrial, didático e comercial. A imaginação é o limite...

A seguir, é exibida uma listagem completa do programa, que também está no disquete que acompanha o livro, junto com um demonstrativo do *Picoscope*.

```
unit ADC42Impac;
interface
uses
 Windows, Messages, SysUtils, Classes,
Graphics,
 Controls, Forms, Dialogs, StdCtrls,
ExtCtrls;
type
TForm1 = class(TForm)
Barra: TScrollBar;
Valor: TLabel;
LuzVerde: TLabel;
LuzAmarela: TLabel;
LuzVermelha: TLabel;
Button1: TButton;
Button2: TButton;
Timer1: TTimer;
procedure Button1Click(Sender:
TObject);
procedure Button2Click(Sender:
TObject);
procedure Timer1Timer(Sender:
TObject);
private
 {Private declarations}
public
 {Public declarations}
end;
var
 Form1: TForm1;
 implementation
 const
  port = 1;
 {$DEFINE ADC42}
{$I adc10.inc}
{$R *.DFM}
procedure TForm1.Button1Click(Sender:
TObject);
begin
 if adc10_open_unit (1, 42) then
  Timer1.Enabled := True
else
 ShowMessage('Modulo não encotra-
do');
end;
procedure TForm1.Button2Click(Sender:
TObject);
begin
 adc10_close_unit(1) ;
 Timer1.Enabled := False;
 Application.Terminate ;
end;
procedure TForm1.Timer1Timer(Sender:
TObject);
Var ValorLido : Integer;
begin
 ValorLido := adc10_get_value;
 Valor.Caption := IntToStr(ValorLido);
 Barra.Position := ValorLido;
 if ValorLido < 3468 then
  begin
   LuzVerde.Visible := False;
   LuzAmarela.Visible := False;
   LuzVermelha.Visible := True;
  end
 else
  if ValorLido > 3481 then
   Begin
    LuzVerde.Visible := True;
    LuzAmarela.Visible := False;
    LuzVermelha.Visible := False;
  end
 else
  Begin
   LuzVerde.Visible := False;
   LuzAmarela.Visible := True;
   LuzVermelha.Visible := False;
 end;
end;

end
```



Índice

A

B

C

D

E

H

I

J

K

L

O

P

S

T

U

V

W

Z

